

# X SEMINARIO DE AUTOMÁTICA

*Industria 4.0:  
¿Cómo me monto al carro?*

***Giacomo Barbieri**  
g.barbieri@uniandes.edu.co*

*29 de septiembre 2022*

# Giacomo Barbieri

- Áreas de investigación:
  - **Mantenimiento industrial:** integración de las tecnologías de digitalización en los procesos de mantenimiento: Smart Retrofitting
  - **Automatización industrial:** integración de las tecnologías de la digitalización a la Agricultura en Ambiente Controlado



# Investigación



- Más relevantes:

- (En publicación) Barbieri G, España A, Sanchez-Londoño D. (2022) A Taxonomy for Levels of Automation based on the Industrial Revolutions. IFAC-PapersOnLine
- Sanchez-Londono, D., Barbieri, G. & Fumagalli, L. (2022) Smart retrofiting in maintenance: a systematic literature review. Journal of Intelligent Manufacturing. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-02002-2>

## Metrics overview

36

Documents by author

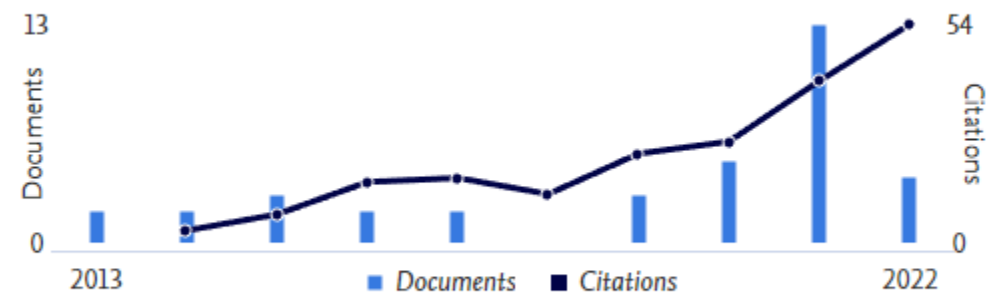
194

Citations by 172 documents

8

*h*-index: [View \*h\*-graph](#)

## Document & citation trends



[Analyze author output](#)

[Citation overview](#)

# Contenido

- Industria 4.0
- Beneficios de la transformación digital
- Smart retrofiting
- ¿Reemplazo o mejora?
- Proyecto Celsia

# Industria 4.0

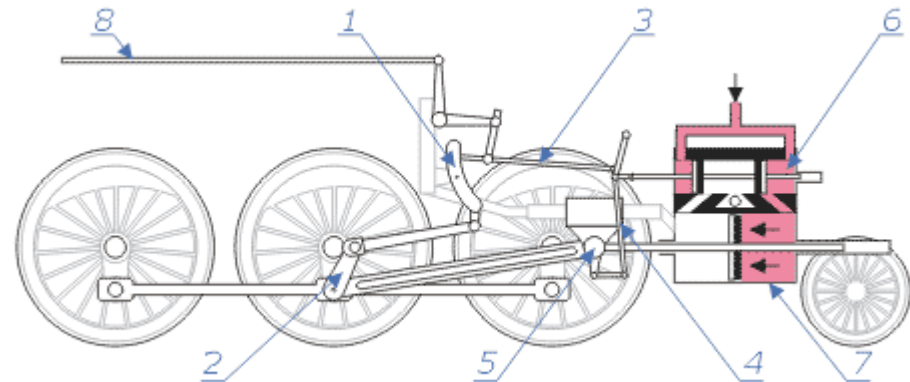
# Industria 0.0

- Hasta la primera **revolución industrial** (final del 1700)
- **Características:**
  - *Tecnología* → Fabricación manual o con el soporte de equipos
  - *Tipología de Producción* → Artesanía
  - *Control de Producción* → Toma de decisión humana



# Industria 1.0

- Comienza con la **primera revolución industrial** (final del 1700)
- **Características:**
  - *Tecnología* → Uso de la energía del agua y del vapor
  - *Tipología de Producción* → 1 producto a la vez
  - *Control de Producción* → Mecanismos: Control Mecánico



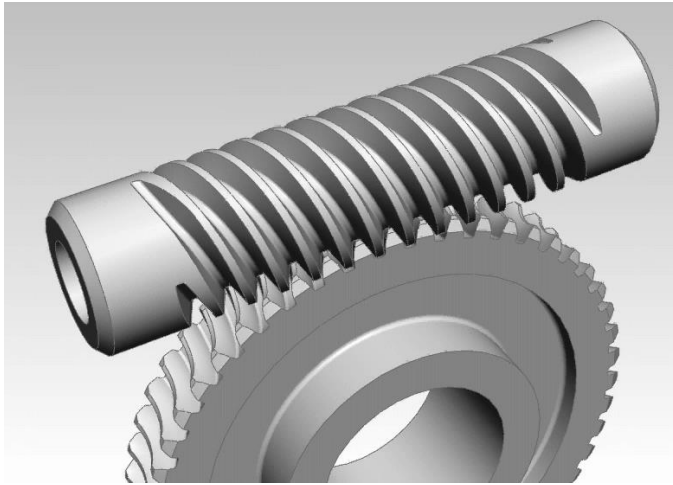
# Industria 2.0

- Nace con la introducción de la **energía eléctrica** (final del 1800)
- **Característica:**
  - *Tecnología* → Energía eléctrica
  - *Tipología de Producción* → Producción de masa
  - *Control de Producción* → Mecanismos + Componentes eléctricos: Control Mecatrónico
- La **lógica de control** se podía realizar con:
  - Relés (interruptores)
  - Temporizadores
  - Botones
  - Finales de carrera
  - Levas
  - Motores a velocidad constante





# Industria 2.0

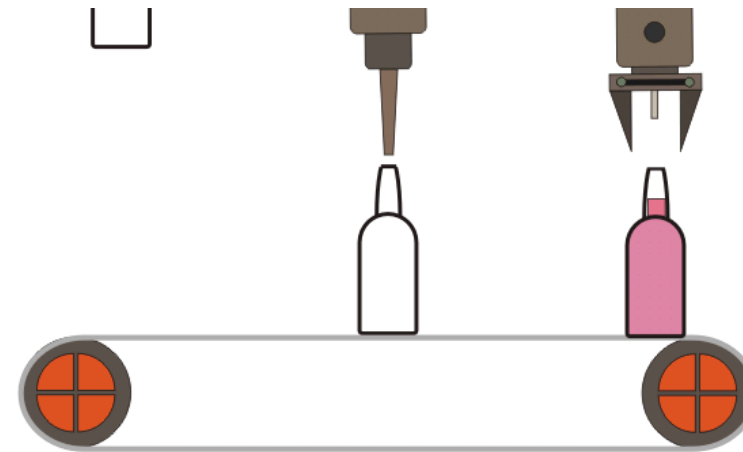


# Industria 3.0

- Nace con la llegada de las **computadoras y los dispositivos de estado sólido** (1970-1980)
- **Características:**
  - *Tecnología* → Servomotores y robots
  - *Tipología de Producción* → Producción flexible
  - *Control de Producción* → Automatización con PLCs: Control Automático



# Industria 3.0



# Industria 4.0

- **Revolución digital:** uso de las modernas tecnologías de la ingeniería de sistemas en la industria (2000)
- **Características:**
  - *Tecnología* → Industria 3.0
  - *Tipología de Producción* → Personalización de masa
  - *Control de Producción* → Decisión basada en los datos: Control Autónomo
- **Disciplinas involucradas:**
  - Internet de las cosas
  - Sistemas ciberfísicos
  - Digital Twin
  - Inteligencia artificial
  - Big Data
  - Seguridad informática
  - Interacción Humano-Robot
  - ...



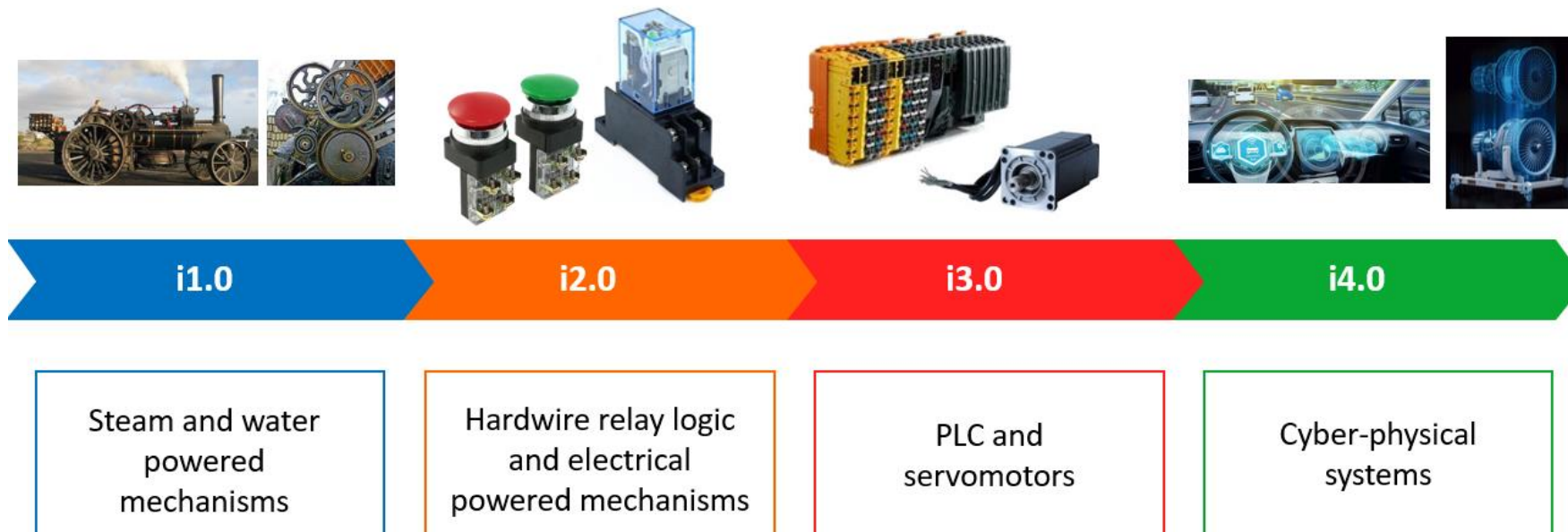


## Pepper Learning Bilboquet from Human Demonstration

SoftBank Robotics Europe  
AI Lab

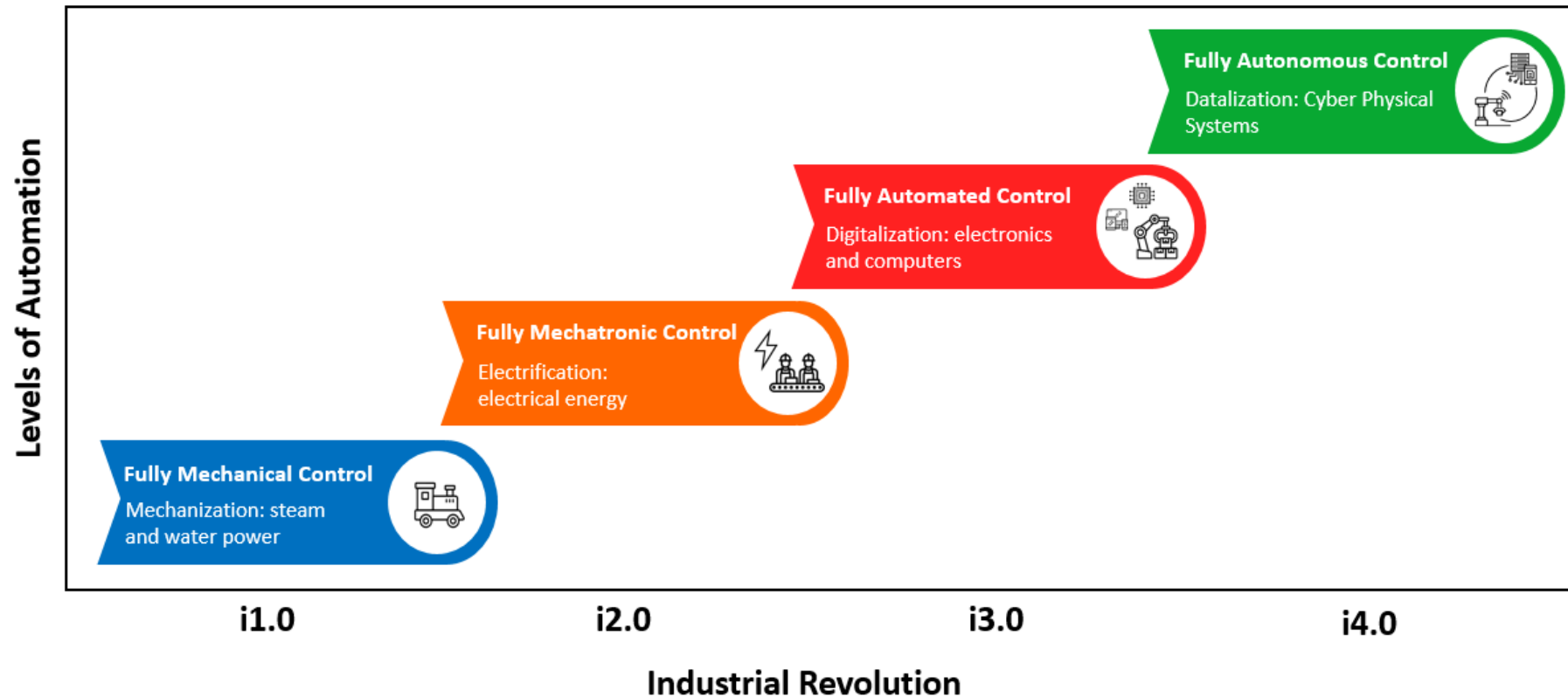
Asya Grechka, Nikolas Hemion  
August 2016

# Evolución desde la perspectiva tecnológica



(En publicación) Barbieri G, España A, Sanchez-Londoño D. (2022) A Taxonomy for Levels of Automation based on the Industrial Revolutions. IFAC-PapersOnLine

# Evolución desde la perspectiva del control



(En publicación) Barbieri G, España A, Sanchez-Londoño D. (2022) A Taxonomy for Levels of Automation based on the Industrial Revolutions. IFAC-PapersOnLine

# Ejemplo de producción de yogur

Tomado de Siemens Colombia

## Industria 1.0



- Revolver grandes cantidades de yogur con ayuda mecánica.

## Industria 2.0



- Línea de producción (empaquete eficiente y rápido)

## Industria 3.0



- Línea de producción con equipos programados (cambio de tamaño, sabor, empaque, etc.)

## Industria 4.0



- Productos inteligentes:
  - El cliente puede escoger el sabor
  - El yogur sabe cuándo vence
  - El yogur sabe cómo se recicla el envase
  - La línea de producción pide los insumos



# Beneficios de la transformación digital

# Objetivo de la transformación digital

## Incertidumbre interna:

- Componente
- Proceso

## Incertidumbre externa:

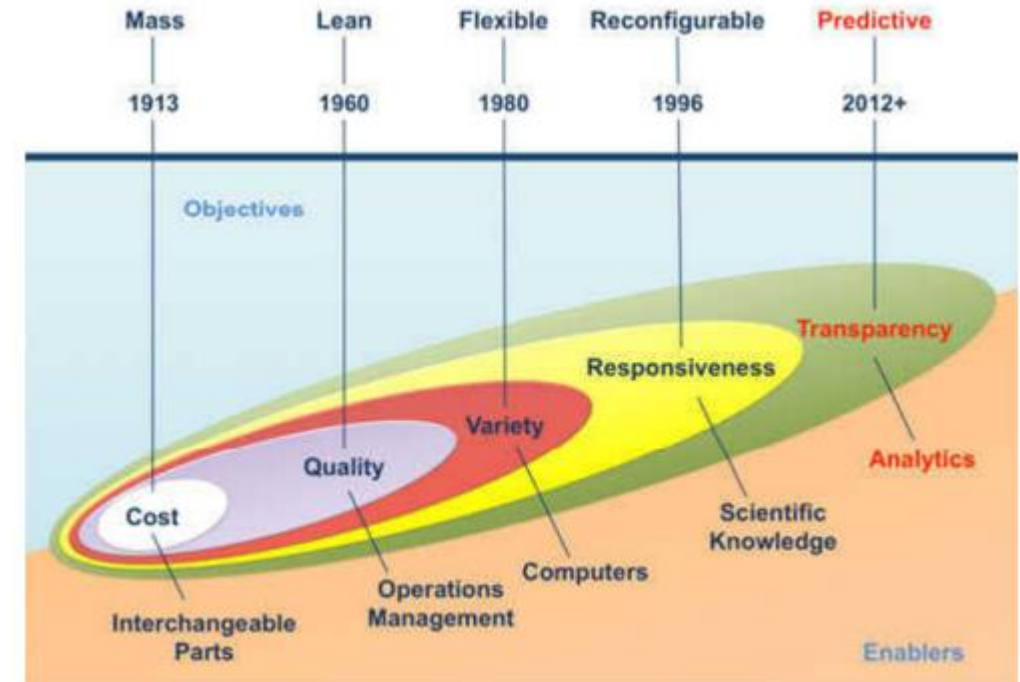
- Proveedores
- Proceso de diseño
- Demanda
- Posventa



Lee, J., Lapira, E., Yang, S., Kao, A., 2013. *Predictive manufacturing system - Trends of next-generation production systems*, in: IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). IFAC, pp. 150–156.

# Objetivo de la transformación digital

**Transparencia:** la capacidad de descubrir, hacer visibles, identificar relaciones entre las diferentes incertidumbres y su relación con el desempeño del sistema

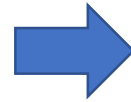


Lee, J., Lapira, E., Yang, S., Kao, A., 2013. *Predictive manufacturing system - Trends of next-generation production systems*, in: IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). IFAC, pp. 150–156.

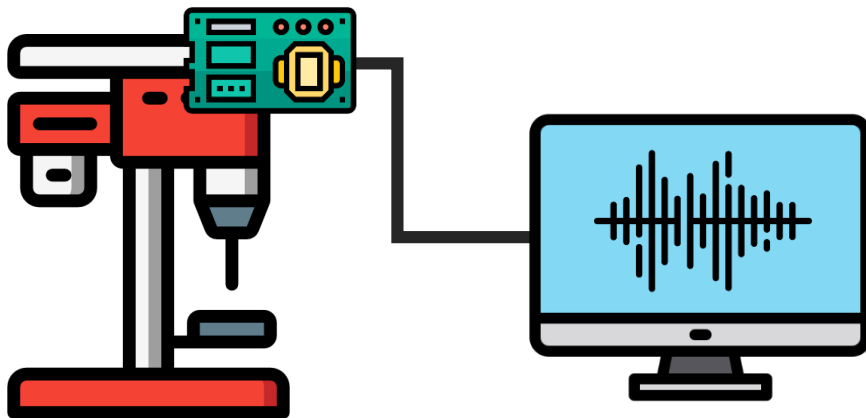
# Smart Retrofitting

# Smart Retrofitting

Necesidad de nuevas funcionalidades relacionadas con la digitalización



Transparencia de los procesos de manufactura

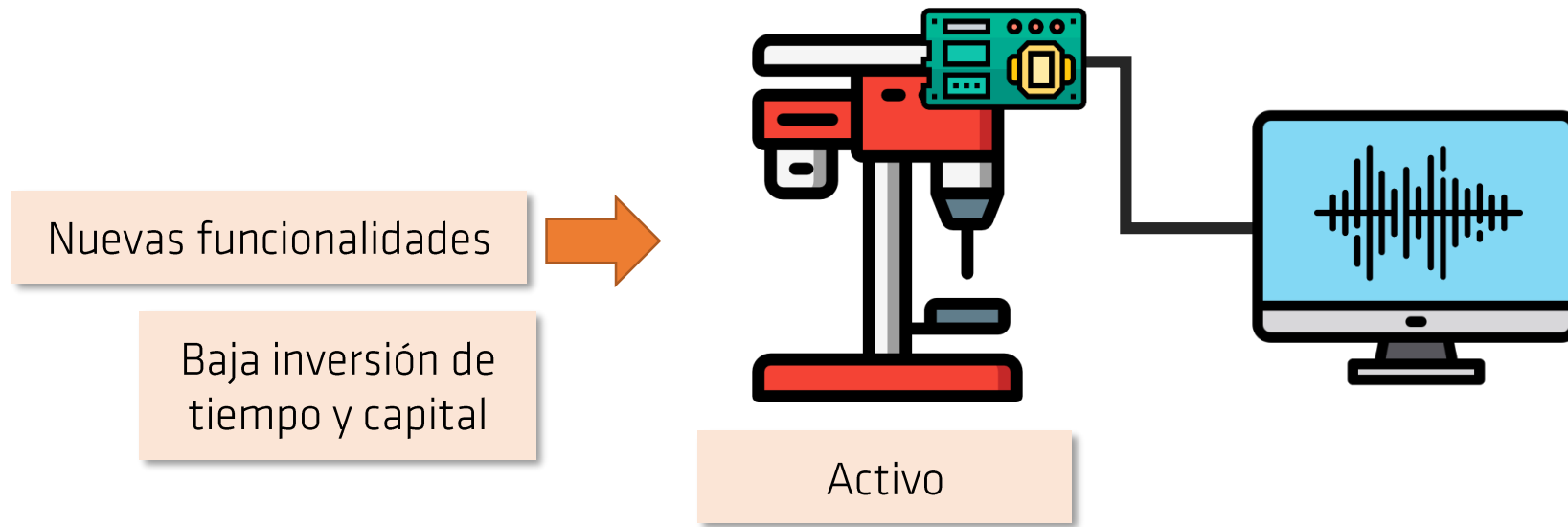


Reemplazo

Mejora

Smart retrofitting

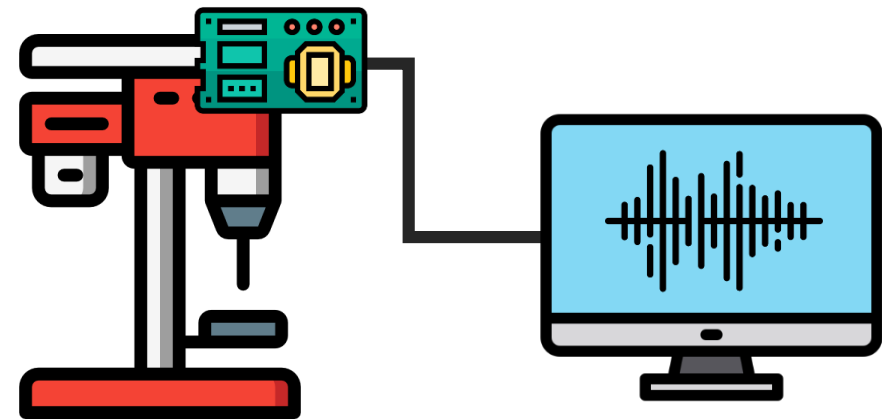
# Smart Retrofitting



# Smart Retrofitting

*“Smart retrofitting en mantenimiento se refiere al desarrollo de servicios de mantenimiento a través de la actualización de dispositivos tramite las siguientes funcionalidades:*

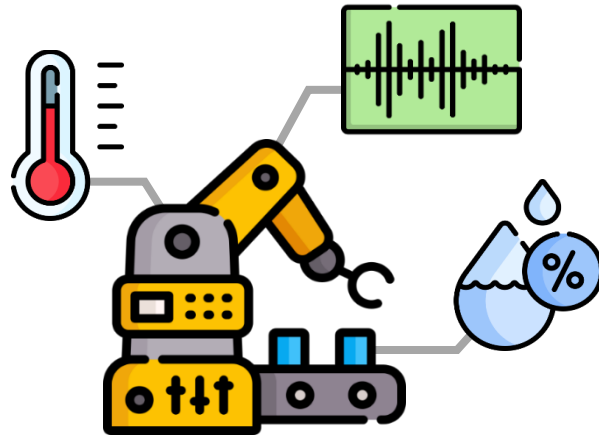
- *Adquisición de datos*
- *Transmisión de datos*
- *Procesamiento de datos”*



Sanchez-Londono, D., Barbieri, G. & Fumagalli, L. (2022) Smart retrofitting in maintenance: a systematic literature review. Journal of Intelligent Manufacturing. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-02002-2>

# Smart Retrofitting

*Adquisición de datos*



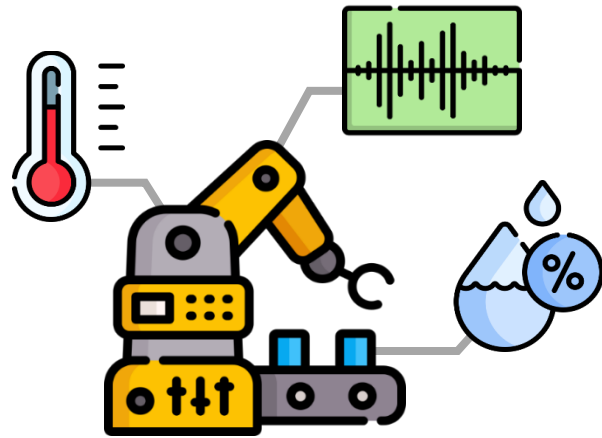
Variables físicas

Variables de proceso

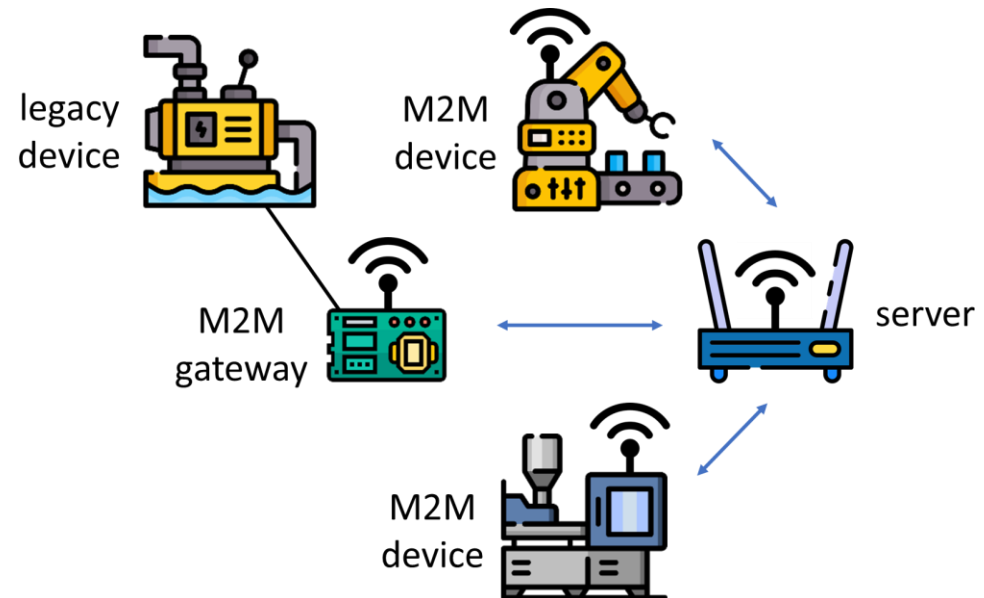


# Smart Retrofitting

*Adquisición de datos*

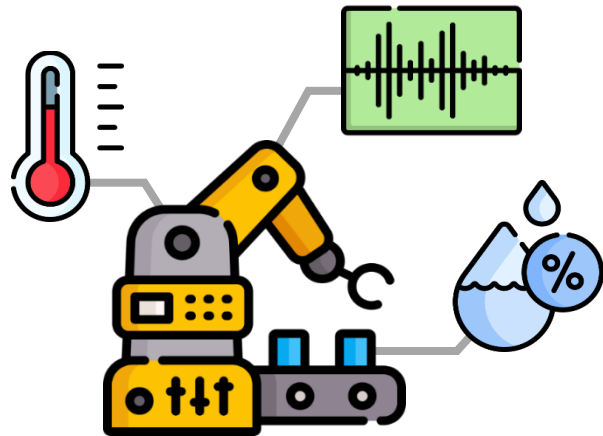


*Transmisión de datos*

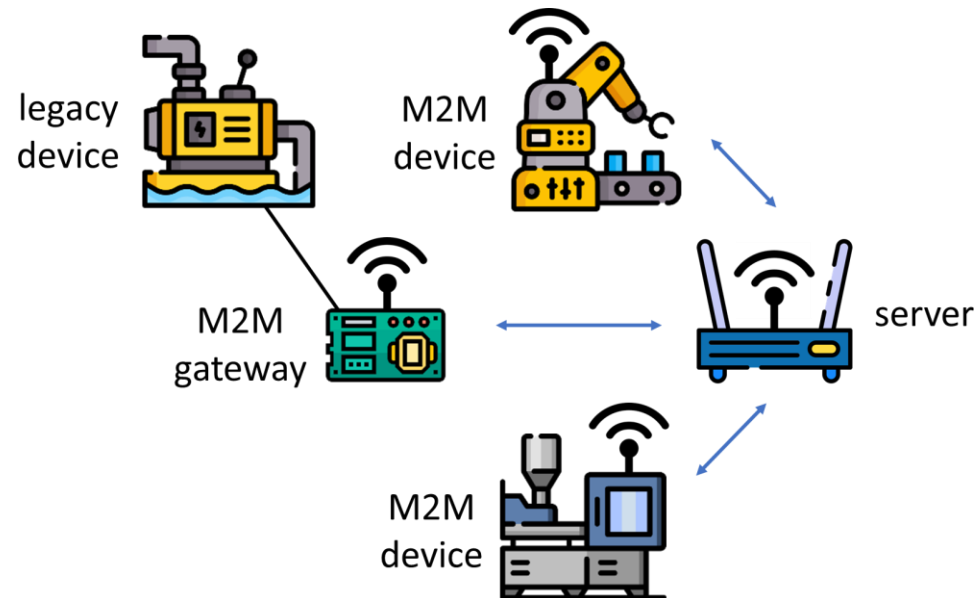


# Smart Retrofitting

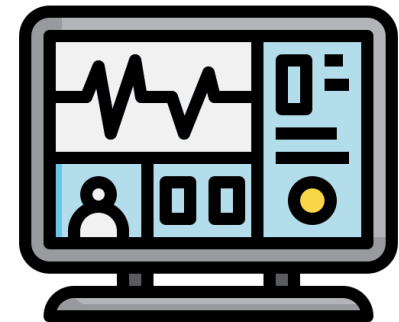
*Adquisición de datos*



*Transmisión de datos*

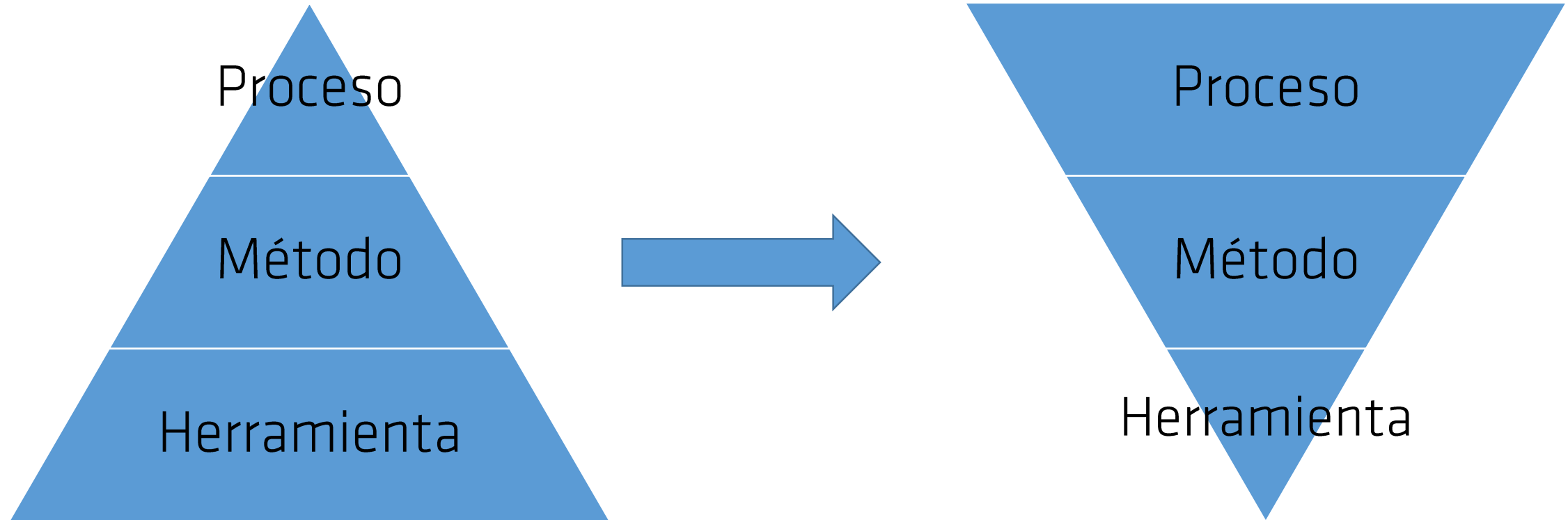


*Procesamiento de datos*



# ¿Reemplazo o mejora?

# Technology push vs demand pull



Lubik, S., Lim, S., Platts, K., Minshall, T., 2013. *Market-pull and technology-push in manufacturing start-ups in emerging industries*. *Journal of Manufacturing Technology Management* 24, 10–27.

# Sistema de bombeo<sup>1</sup>

Considere el sistema de bombeo ilustrado en Figura 1. Este tiene la función de garantizar que el nivel de líquido del tanque Y quede dentro del rango de 120 a 240 mil litros. Por esto, la bomba se activa cuando el nivel del tanque Y llega a 120 000 L y se apaga cuando alcanza los 240 000 L. Un sensor de nivel se encuentra justo debajo de los 120 000 L para señalar la falla de la bomba. Si el tanque Y se queda sin líquido, el proceso agua abajo se tiene que detener y esto cuesta a la empresa 5000\$/hora.

Uno de los modos de falla de la bomba es el daño de los rodamientos por desgaste. En el caso de no implementar una tarea proactiva, el análisis del histórico de mantenimiento indica un TPO (tiempo promedio operativo) de 3 años y un TPFs (tiempo promedio fuera de servicio) de 4 horas.

Por otro lado, se evidenció que una tarea proactiva es técnicamente viable y ahora se quiere evaluar la viabilidad económica de esta. La tarea consiste en un monitoreo semanal del sonido emitido por la bomba. En el caso de detectar la cercanía a una falla, el tanque Y se llenaría hasta el nivel máximo (240 000 L), y se procedería al remplazo del rodamiento. De esta forma no se causarían penalizaciones, ya que los técnicos tendrían 5 horas<sup>2</sup> para terminar una tarea que tiene un TPFs de 4 horas<sup>3</sup>. La duración del monitoreo semanal es de 20 minutos y el técnico tiene un costo de 24\$ por hora.

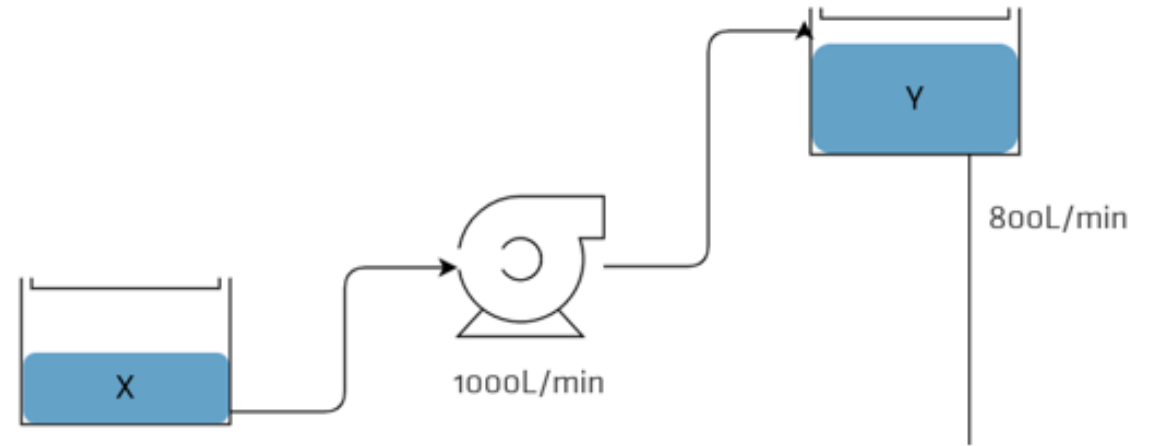


Figura 1: sistema de bombeo utilizado en el caso de estudio. La bomba tiene un caudal de 1000 L/min mientras que la salida de líquido del tanque Y es 800L/min.

## Instrucciones

Calcule el costo promedio anual de la tarea correctiva con respecto a la proactiva. ¿Cuál de las dos implementaría?

En el cálculo considere lo siguiente:

1. No se provee información con respecto a los costos directos de mantenimiento ya que este valor sería muy parecido en los dos escenarios<sup>4</sup>.
2. En el cálculo de los costos de la tarea proactiva considere 50 semanas por año.

<sup>1</sup> Moubray, J. (2001). *Failure consequences*. In *Reliability-centered maintenance* (pp. 90-128). Industrial Press Inc.

# Ciclo de vida de activos físicos

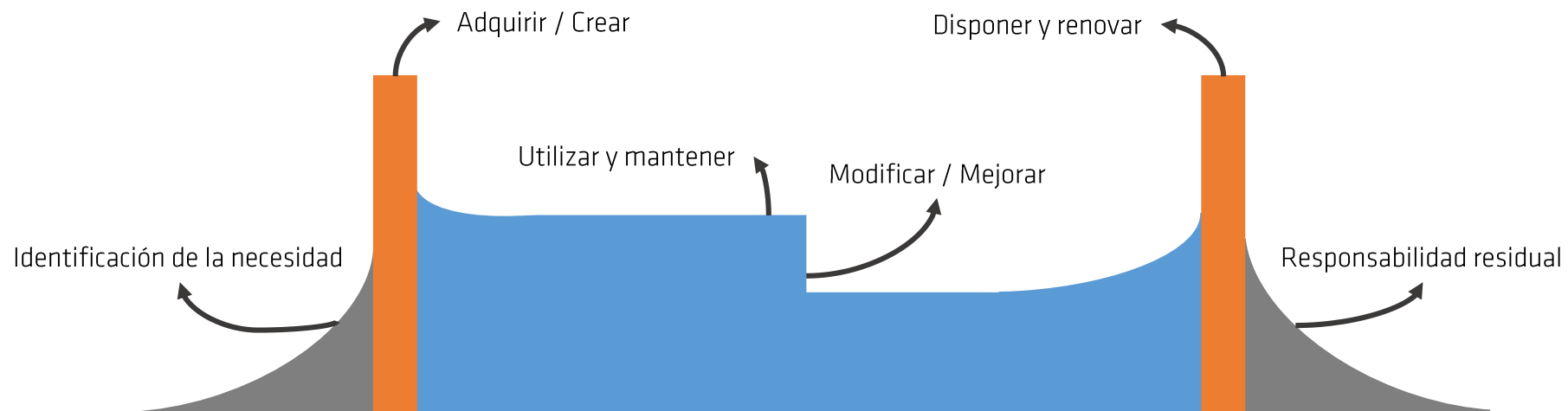
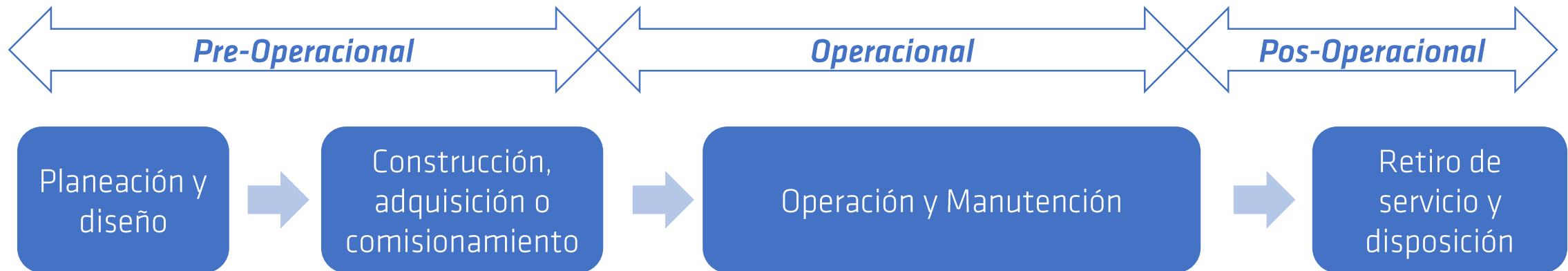
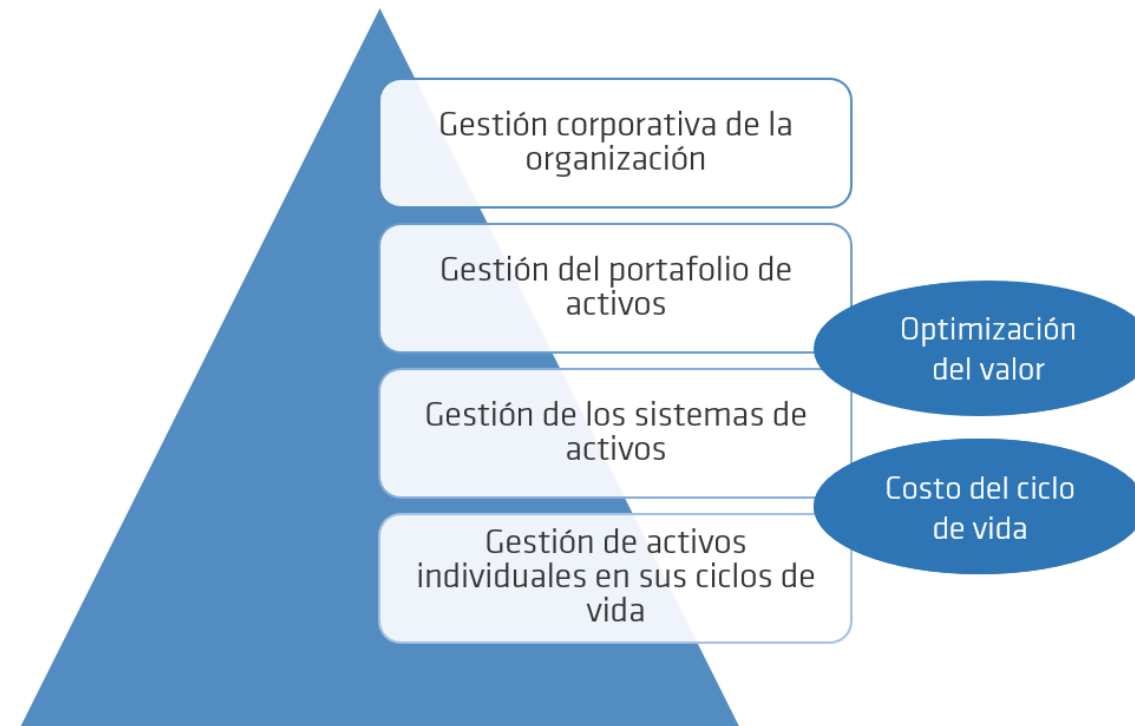


Imagen adaptada de:  
GFMAM. The Maintenance Framework, Global Forum on Maintenance & Asset Management, 2021

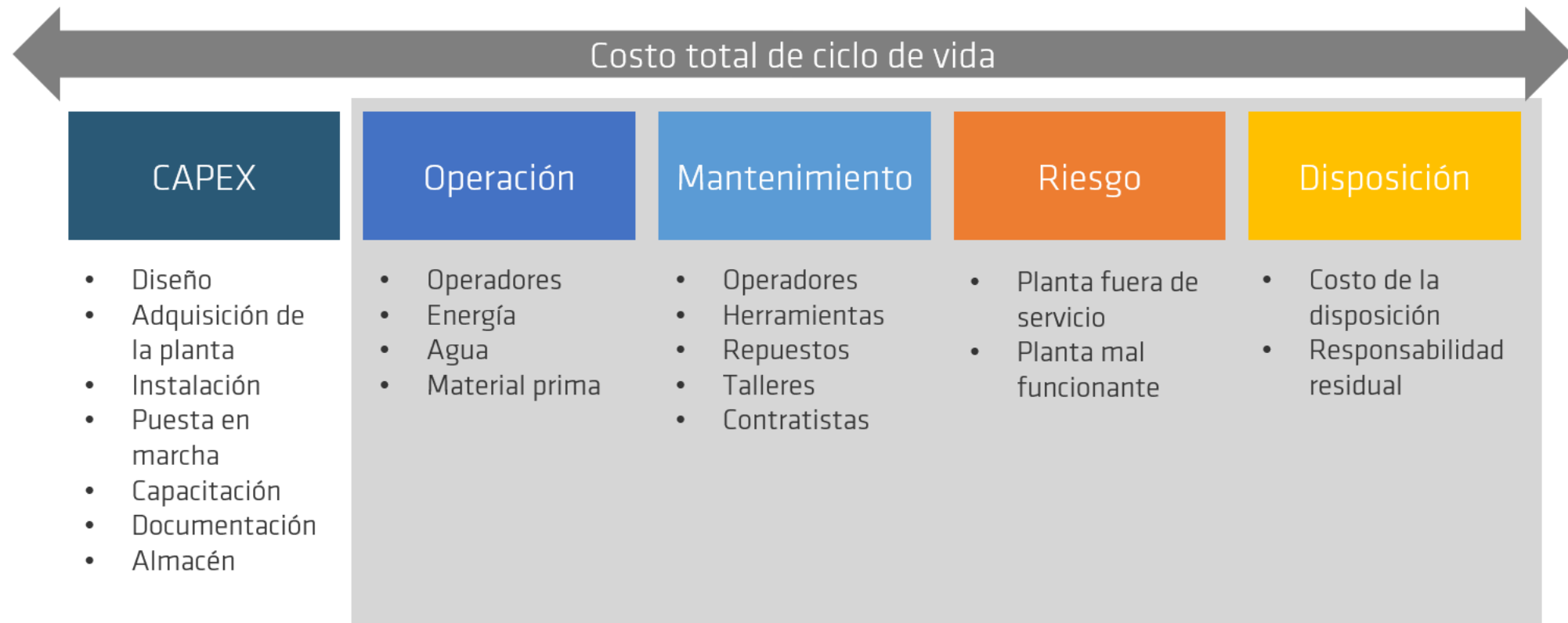
# Toma de decisión en la gestión de activos

**Gestión de activos:** actividades coordinadas de una organización para obtener valor de los activos



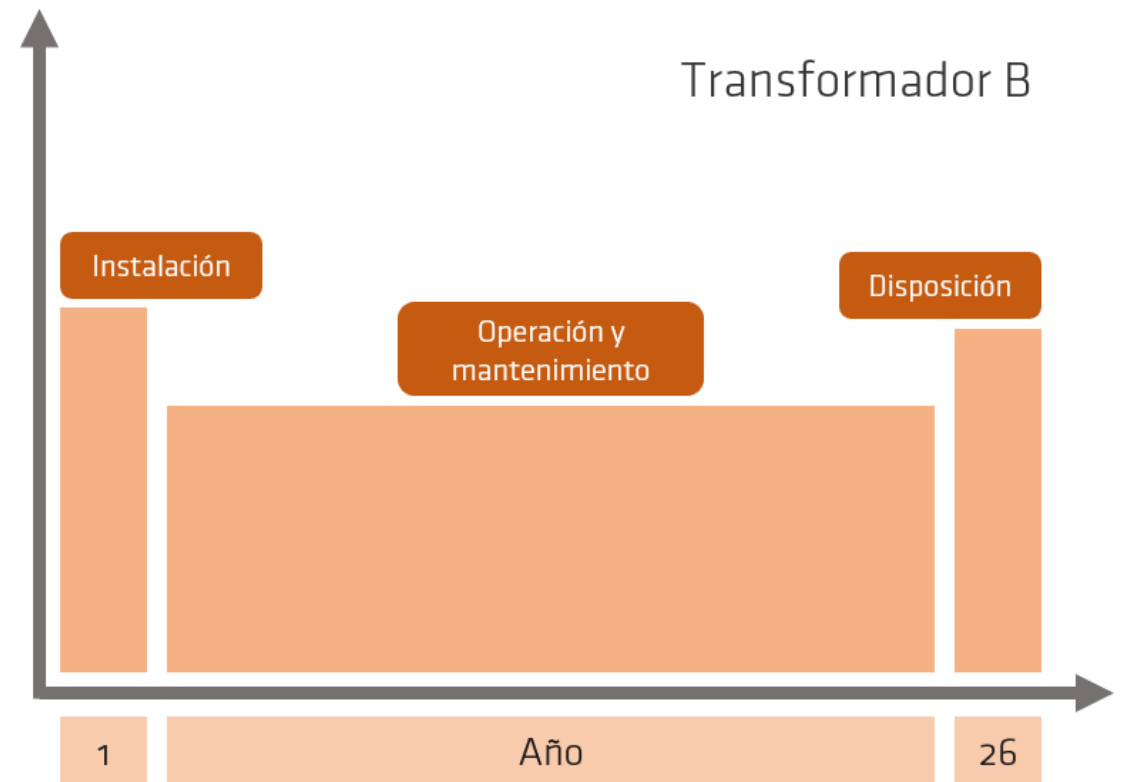
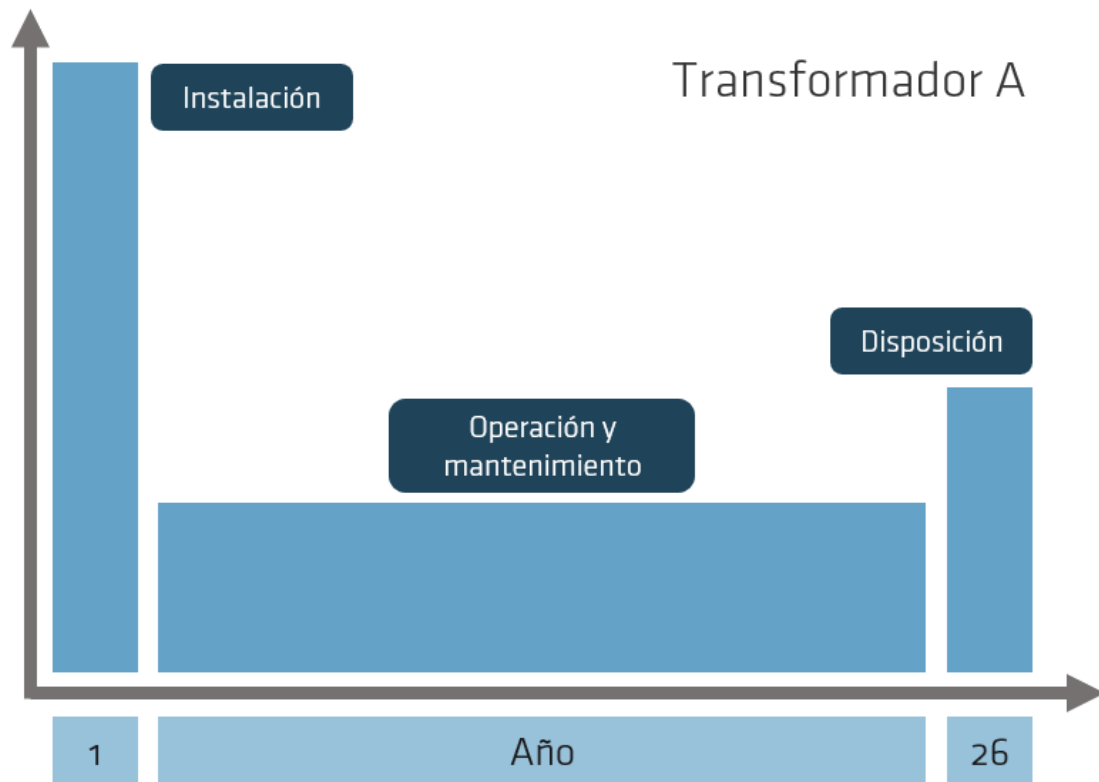
The Institute of Asset Management. (2015). *Logro del valor en el ciclo de vida*. IAM.

# Costo total del ciclo de vida

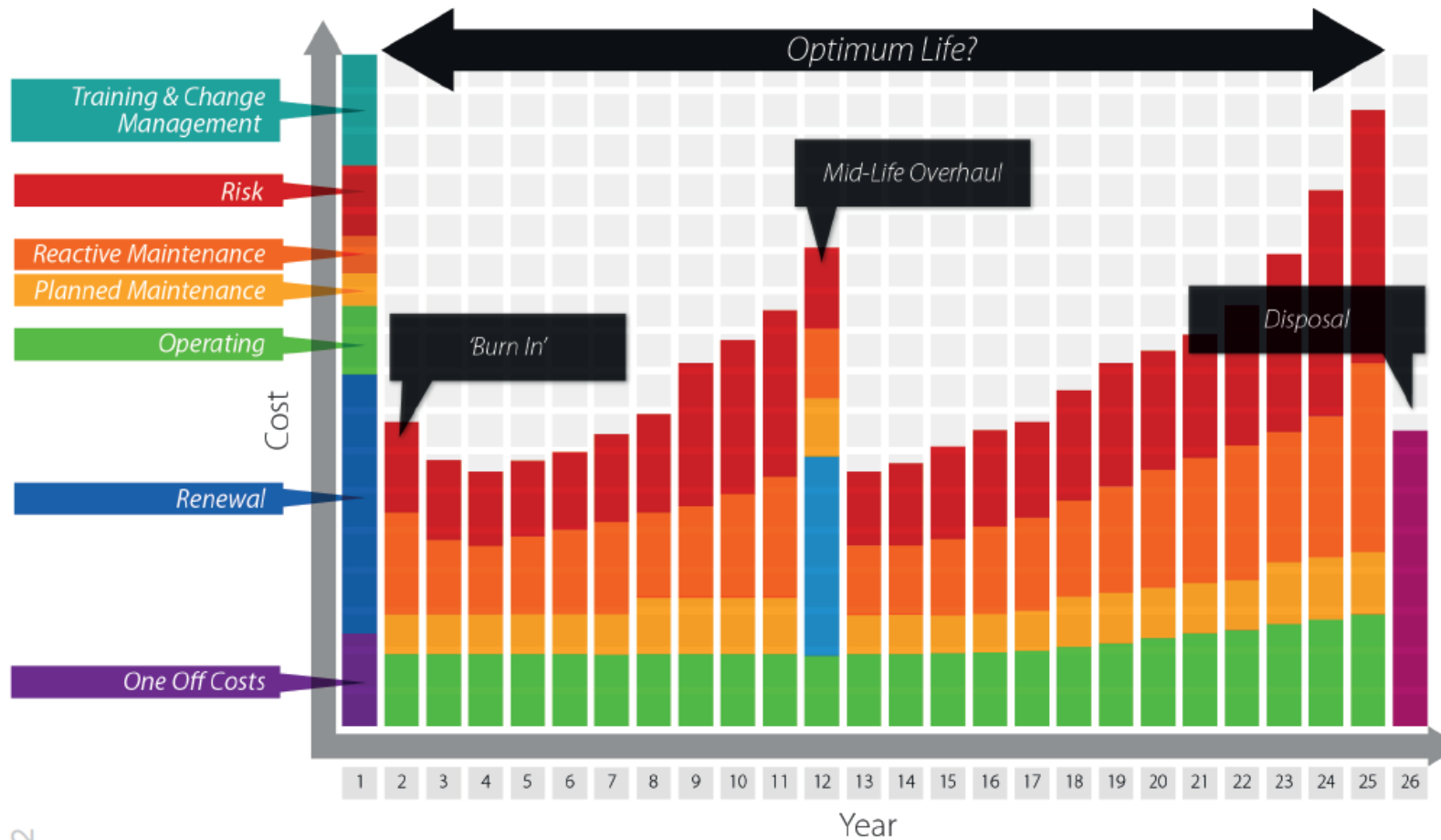




# Ejemplo: selección de transformadores



# Costo total del ciclo de vida



22

# Optimización del valor

- Cada organización debe determinar **qué constituye valor** en relación con los objetivos corporativos que quiere alcanzar
- El valor generalmente se alcanza en la optimización / balance entre **costo, riesgo y desempeño**



Desempeño



Costo

Riesgo

# Proyecto Celsia



Celsia es una empresa del Grupo Argos apasionada por las **energías renovables** y por la **eficiencia energética**.

Generan y transmiten energía eficiente de **fuentes renovables** (agua, sol y viento), con respaldo térmico.

Con presencia en Colombia, Panamá, Costa Rica y Honduras.

## Un vistazo a nuestra empresa y sus negocios

**1.194.875** clientes

1.190.844 hogares y comercios  
869 grandes empresas  
3.162 Otros

### Allados en eficiencia energética de nuestros clientes

- 341 proyectos solares a diferentes escalas
- 2 distritos térmicos
- 4.353 proyectos de soluciones y eficiencia energética
- +57.000 luminarias reemplazadas en 18 proyectos de iluminación eficiente
- 150 estaciones de carga para vehículos eléctricos públicas y privadas

### Experiencia del cliente

- 42 tiendas Celsia
- 15 quioscos y pantallas de autoatención
- 5.994 puntos de pago
- 36 puntos digitales Celsia web

**170** subestaciones de distribución (2 + que en 2019)

- 50 subestaciones de distribución de 115 kV
- 120 subestaciones de 34,5/13,2 kV (2 + que en 2019)

**43.415 km** de red de distribución (612 km+ que en 2019)\*

Aérea (<220 kV): 42.913 km  
Subterránea (<220 kV): 502 km

**16** subestaciones de transmisión

**291 km\*** de red de transmisión (>220 kV)

Proyecto en desarrollo: subestación Toluviájo (220 kV) en Sucre, y 160 km de líneas de transmisión

Caoba, plataforma de crecimiento en alianza con Cubico Sustainable Investment

\*274 km en Colombia y 17 en Centroamérica.

#### CONVENCIONES

- Grejas y techos solares
- Centrales hídricas
- Centrales térmicas de respaldo
- Subestaciones de transmisión
- Subestaciones de distribución
- Central eólica

**1.872,6 MW** de capacidad instalada total  
**4.550,3 GWh/año** de energía total generada

Ambos resultados incluyen pilos solares.

**22** centrales hídricas

- 13 Valle del Cauca (Colombia)
- 3 Chiriquí (Panamá)
- 3 Antioquia (Colombia)
- 2 Tolima (Colombia)
- 1 Cauca (Colombia)

**1.250 MW** de capacidad instalada

**3** centrales térmicas de respaldo

- 2 Colón (Panamá)
- 1 Santander (Colombia)
- 1 proyecto en construcción (Colombia)

**476 MW** de capacidad instalada

**2** granjas solares conectadas al SIN

- 1 Bolívar (Colombia)
- 1 Provincia de Coclé (Panamá)

**18 MW** de capacidad instalada

**1** central eólica

- 1 Guanacaste (Costa Rica)
- 330 MW en 4 parques proyectados en La Guajira

**49,5 MW** de capacidad instalada

### Generación solar distribuida

**4** granjas solares en operación

- 2 Valle del Cauca (Colombia)
- 1 Comayagua (Honduras)
- 1 Tolima (Colombia)

**40 MW** de capacidad instalada

220 MW de portafolio en proyectos de granjas solares

**77** techos solares empresariales

- 65 Colombia
- 12 Centroamérica

**26,6 MWp** de capacidad instalada

**254** techos en hogares

- 97 Colombia
- 157 Centroamérica

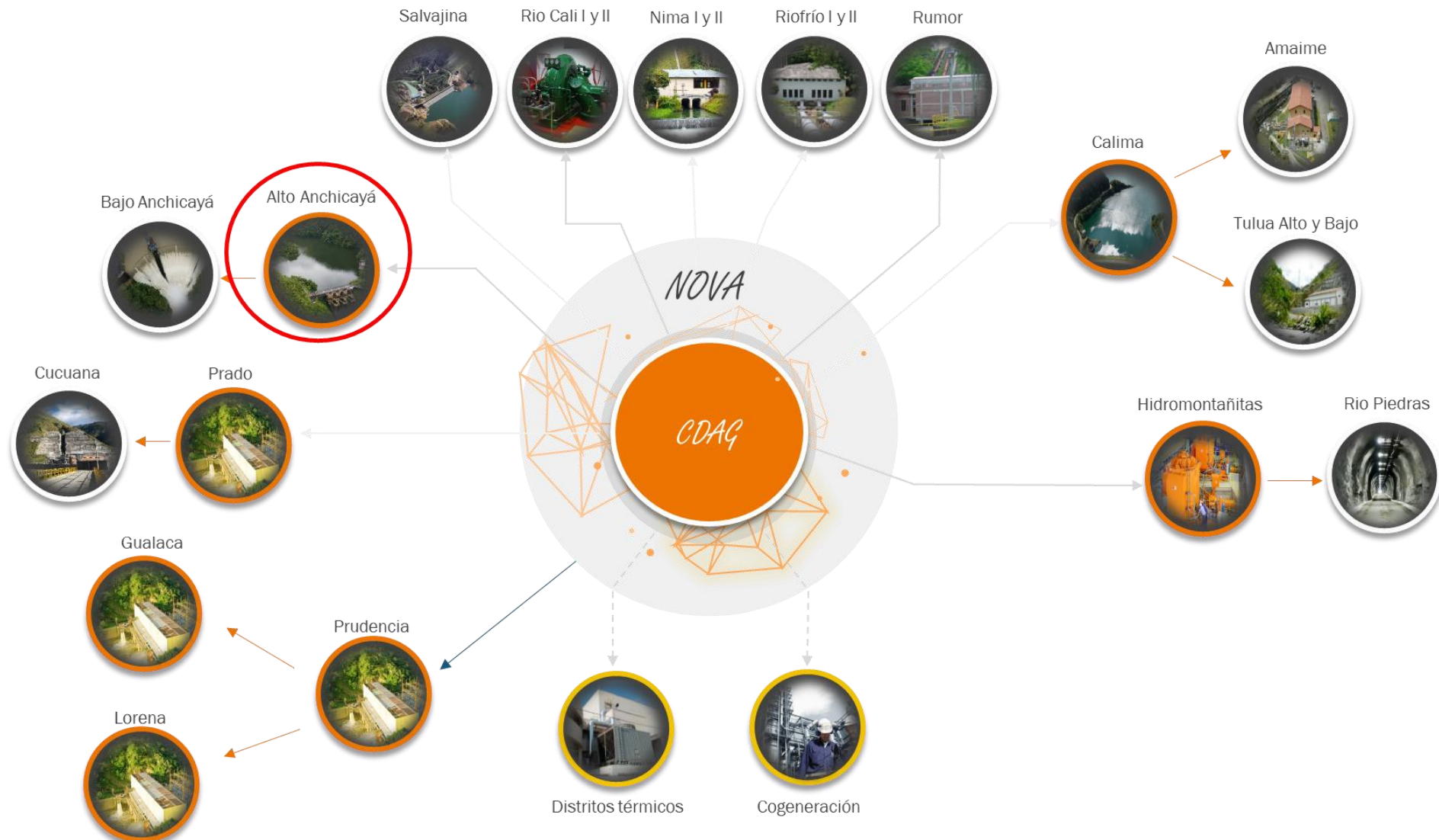
**799,5 kWp** (0,8 MW) de capacidad instalada

Algunos datos del negocio fueron ajustados debido a la verificación externa del tercer independiente, la cual se realizó posterior a la divulgación de otros informes de gestión que publica la compañía.

# Centro de Diagnóstico Avanzado en Generación



# Proyecto piloto

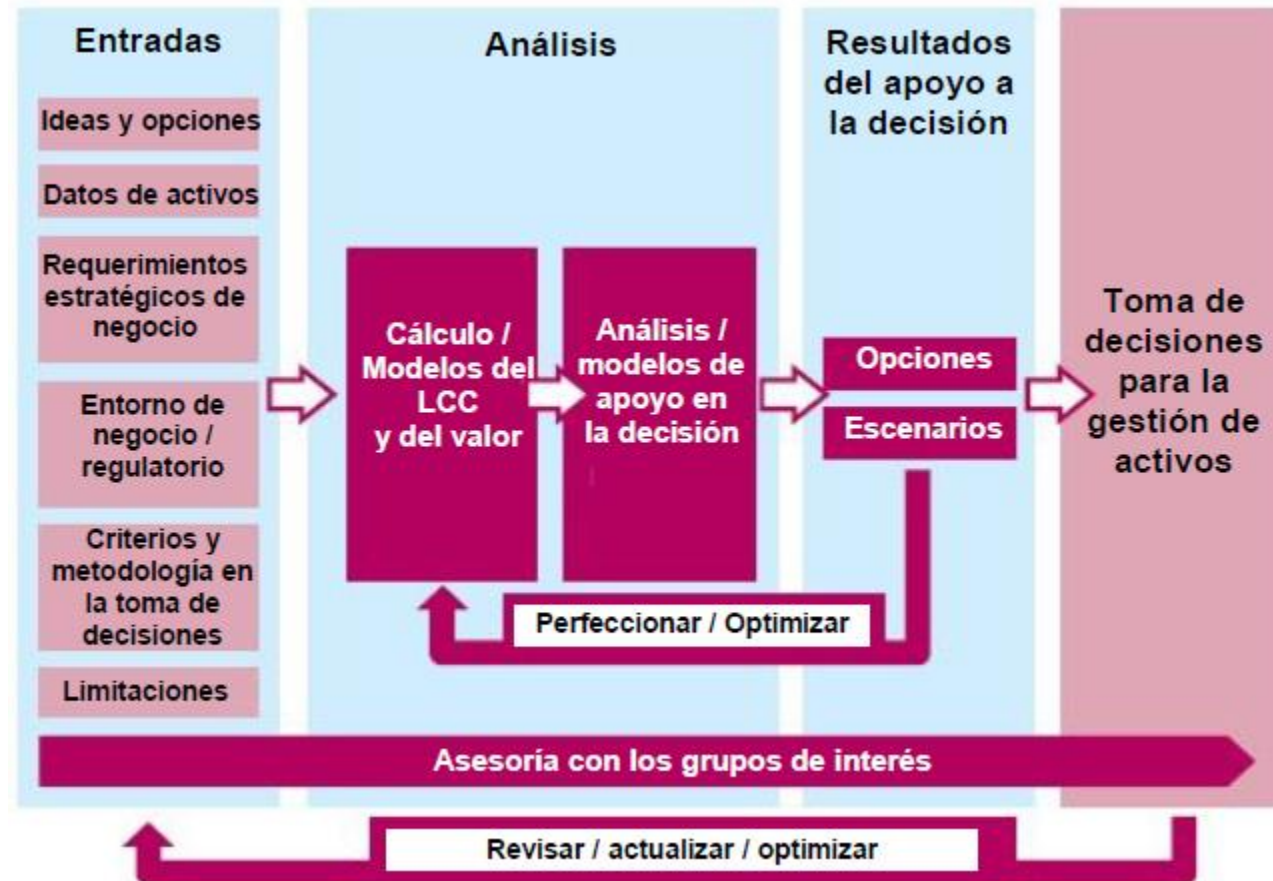


# Alto Anchicayá





# Framework para la toma de decisión



# X SEMINARIO DE AUTOMÁTICA

*¡Gracias!*

*Giacomo Barbieri*  
*g.barbieri@uniandes.edu.co*

*29 de septiembre 2022*

# Coursera



<https://www.coursera.org/learn/introduccion-al-mantenimiento-de-activos-fisicos>