



Summit

Energy Automation

20
24



¡Eficiencia energética!



Conocimiento & Conexiones



Summit
Energy Automation

20
24

Analisis de datos en sistemas fotovoltaicos



Participantes

- Nombre
- Empresa
- Rol / Cargo
- Campo de aplicacion
- ¿Que conocimiento tengo de PV?
- ¿Cuales son las expectativas al terminar?

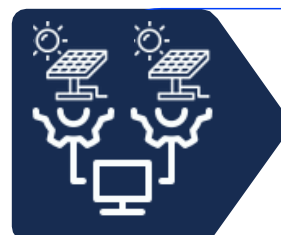
Juan Felipe Urbano O.

- Ingeniero electrónico - Universidad de Antioquia.
Candidato a Magíster en Ingeniería Eléctrica -
Universidad de los Andes
- Desarrollador de software (C#, C++, Python, KOTLIN)
- Implementación Sampled Values - AT61, modulo Axon
Solar, simuladores AT5.
- Manejo de tecnologías para el control y la
automatización de sistemas fotovoltaicos.
- Desarrollo de sistema SCADA - HMI con énfasis en la
automatización de sistemas fotovoltaicos

juan.urbano@axongroup.com.co



Temario



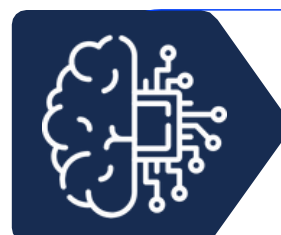
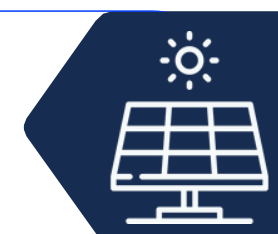
SCADA para sistemas
PV

Operacion y
mantenimiento



Optimización de sistemas
PV

Tendencias en O&M

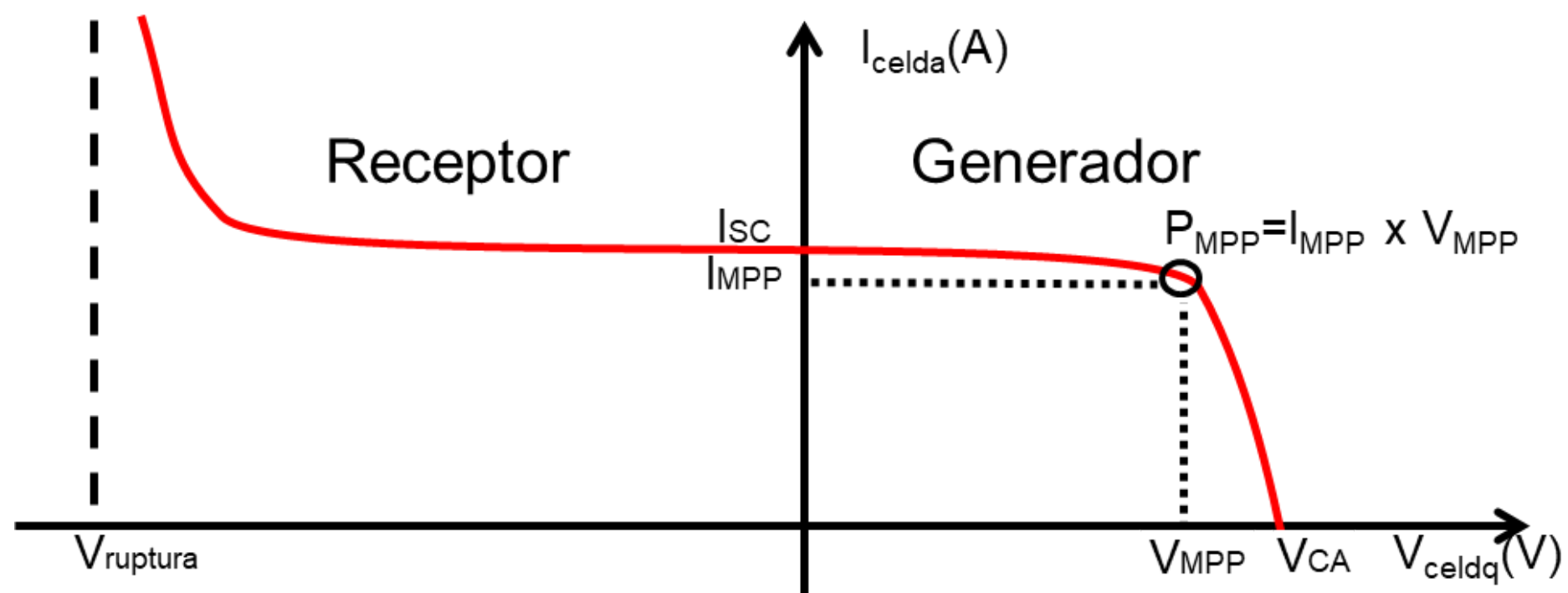
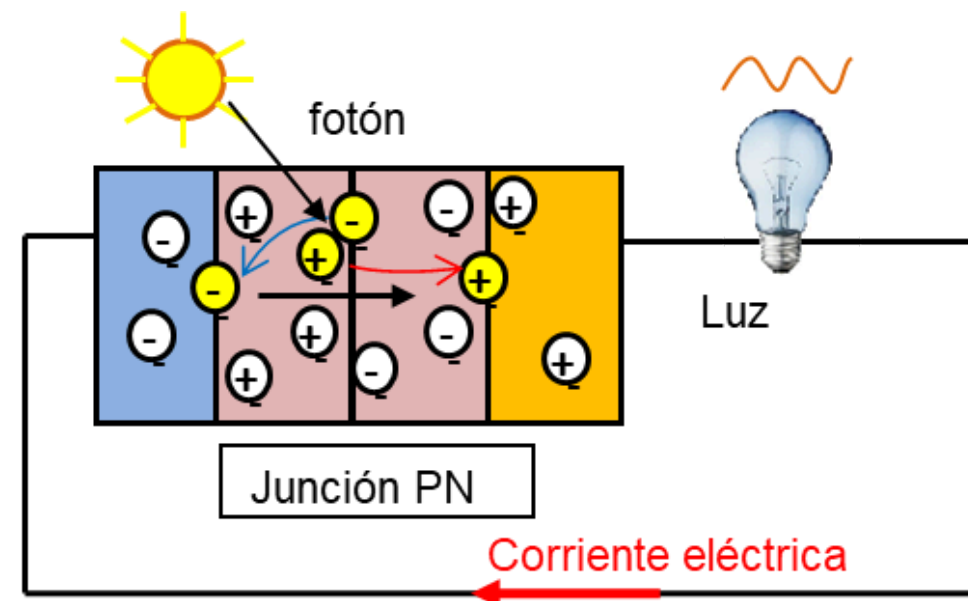


Machine Learning en
PV

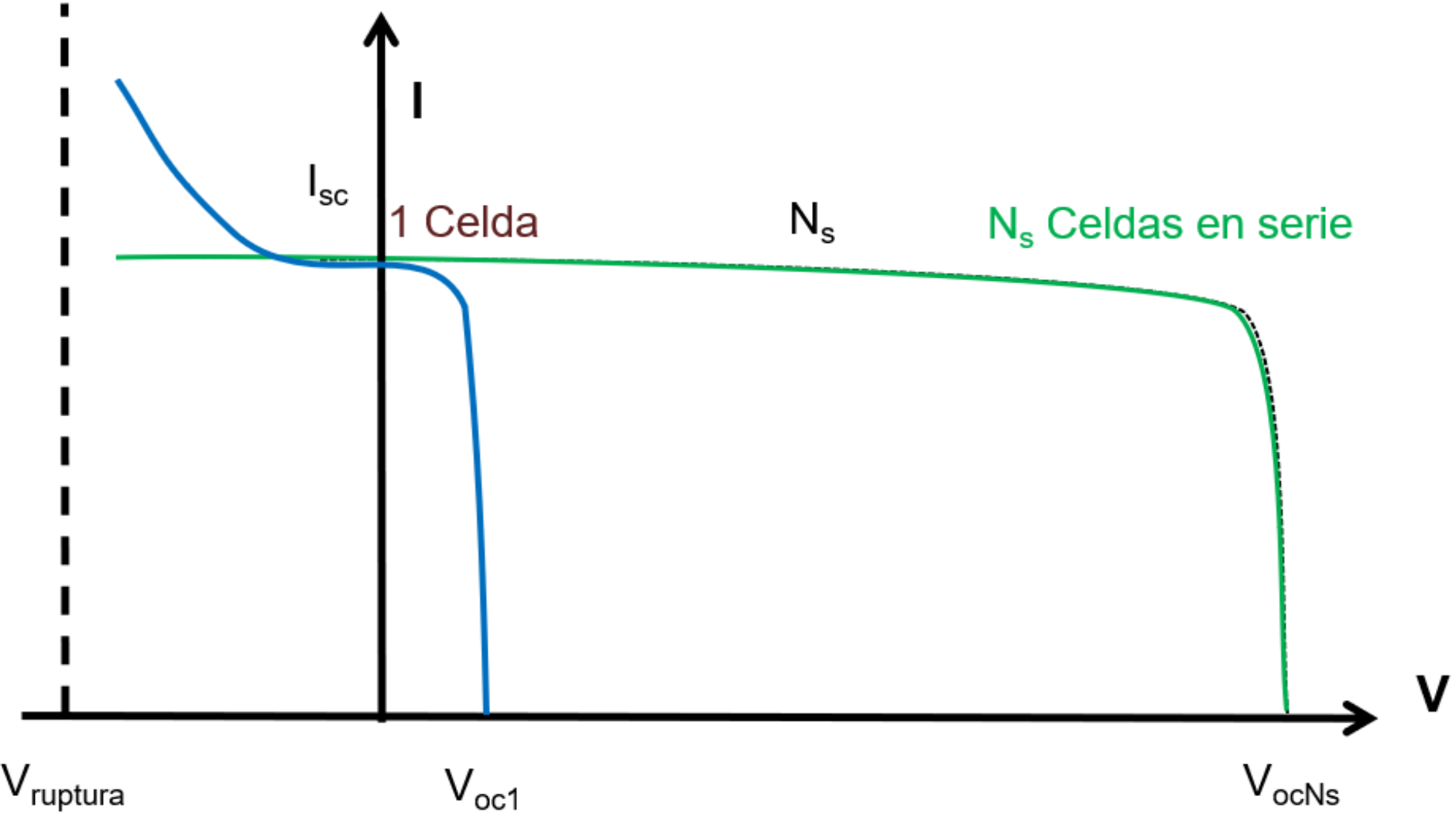
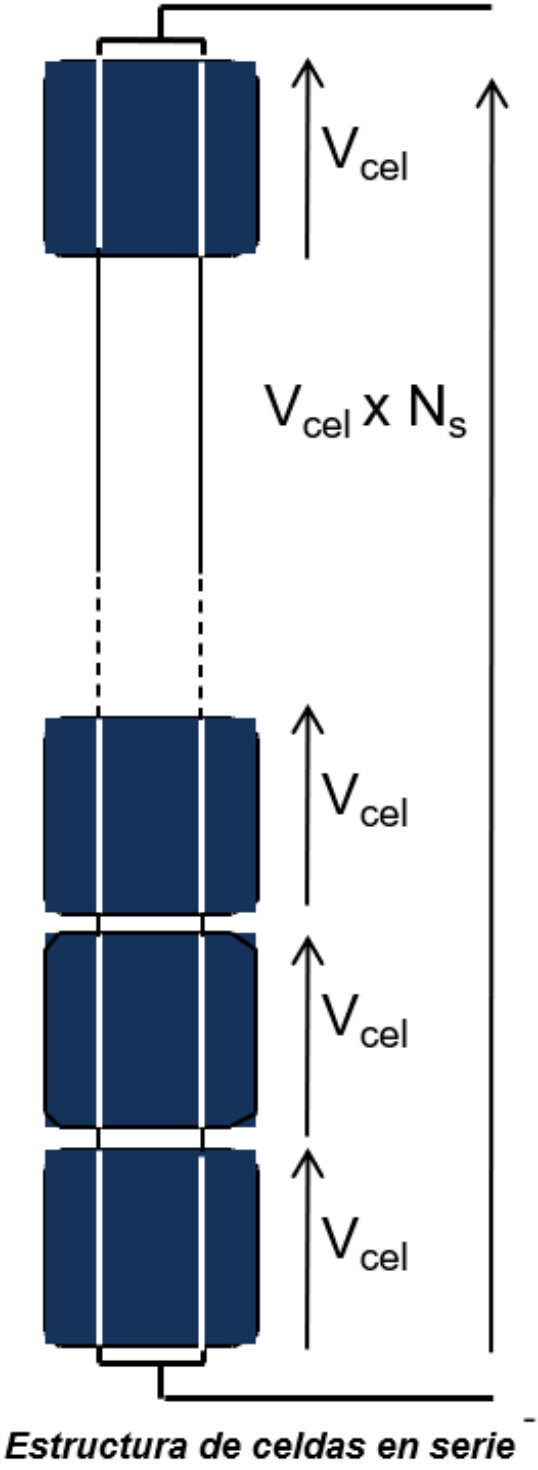


Conceptos de sistemas fotovoltaicos

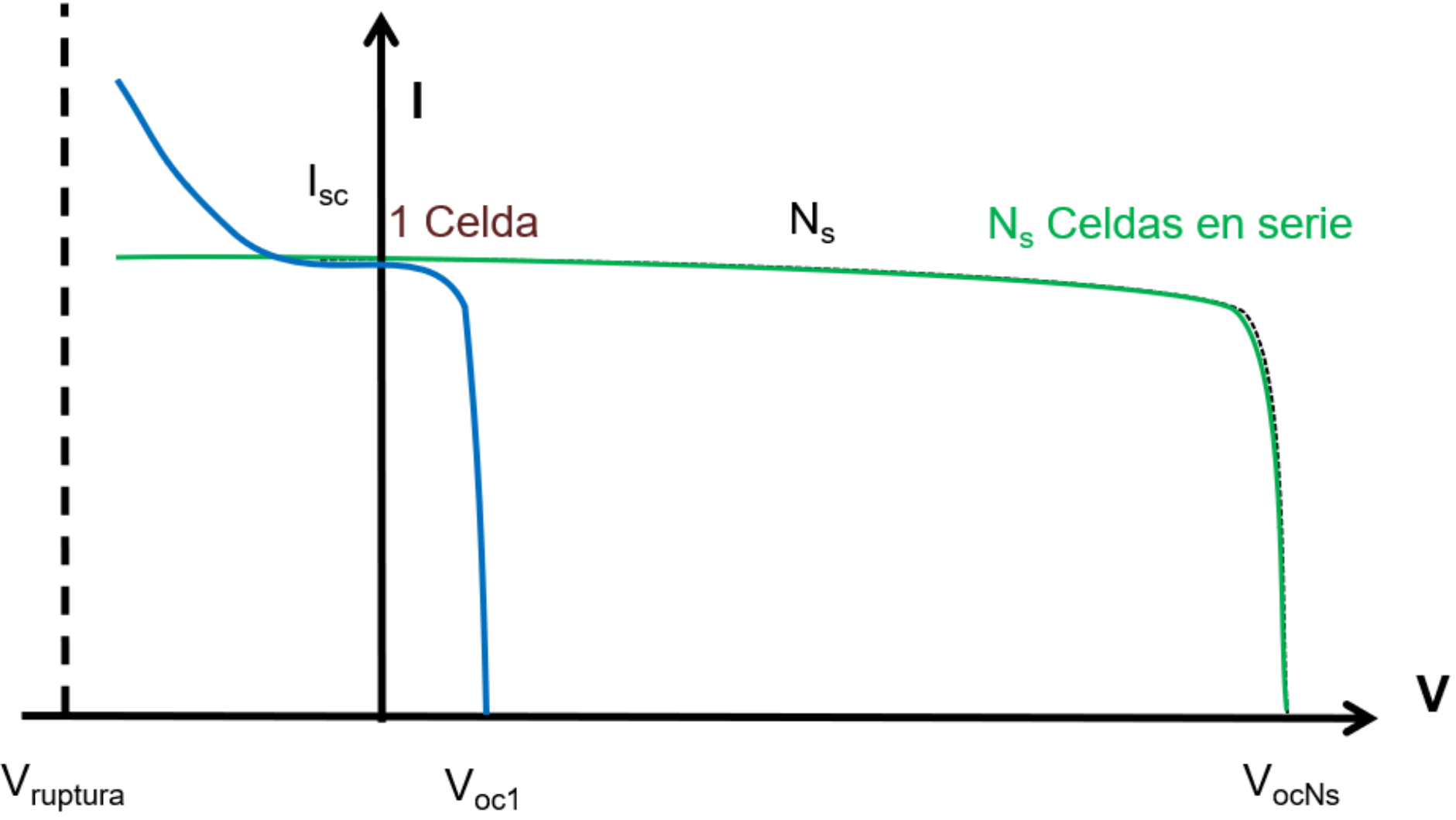
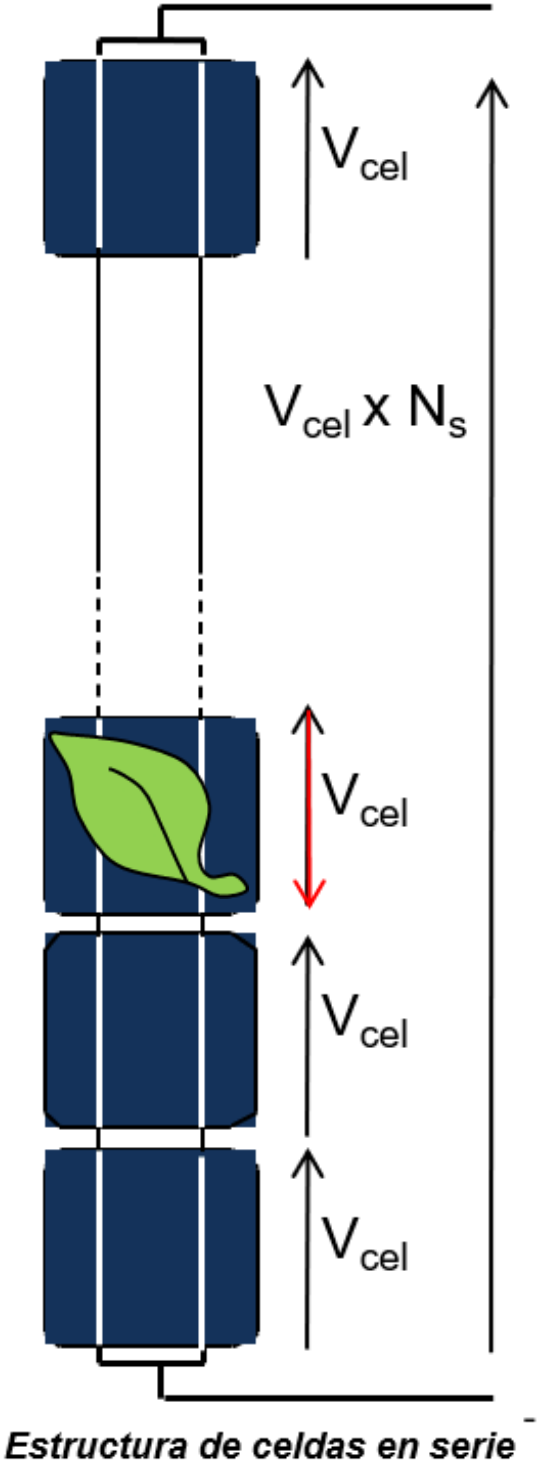
Funcionamiento de una celda solar fotovoltaica



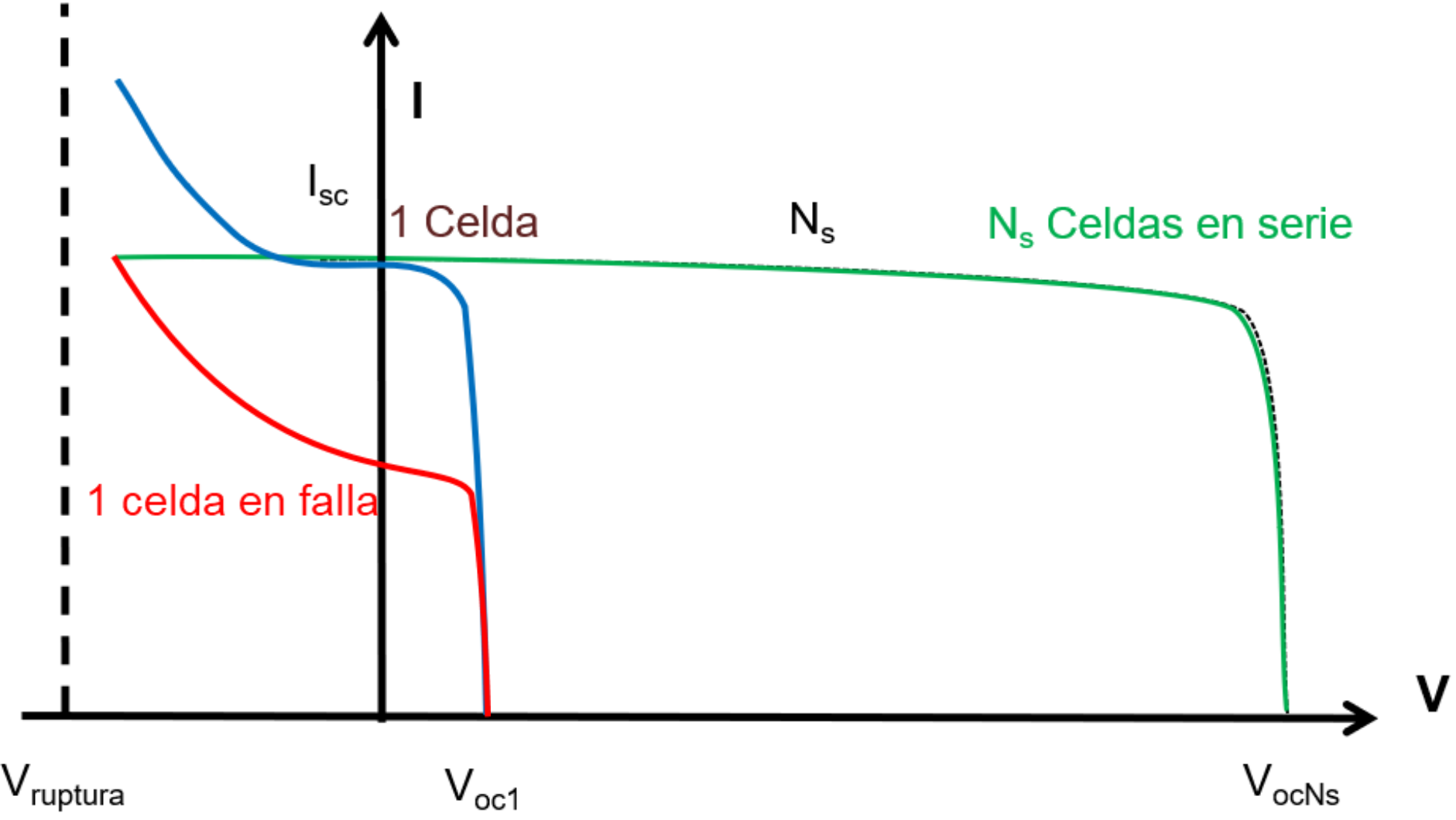
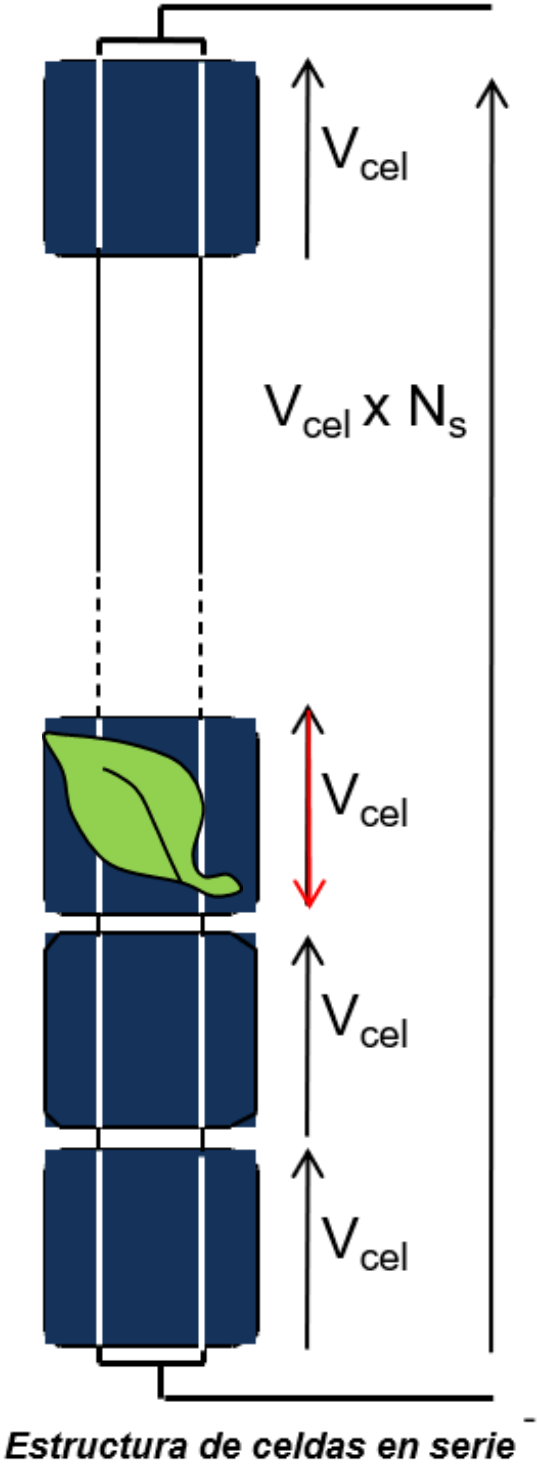
Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica



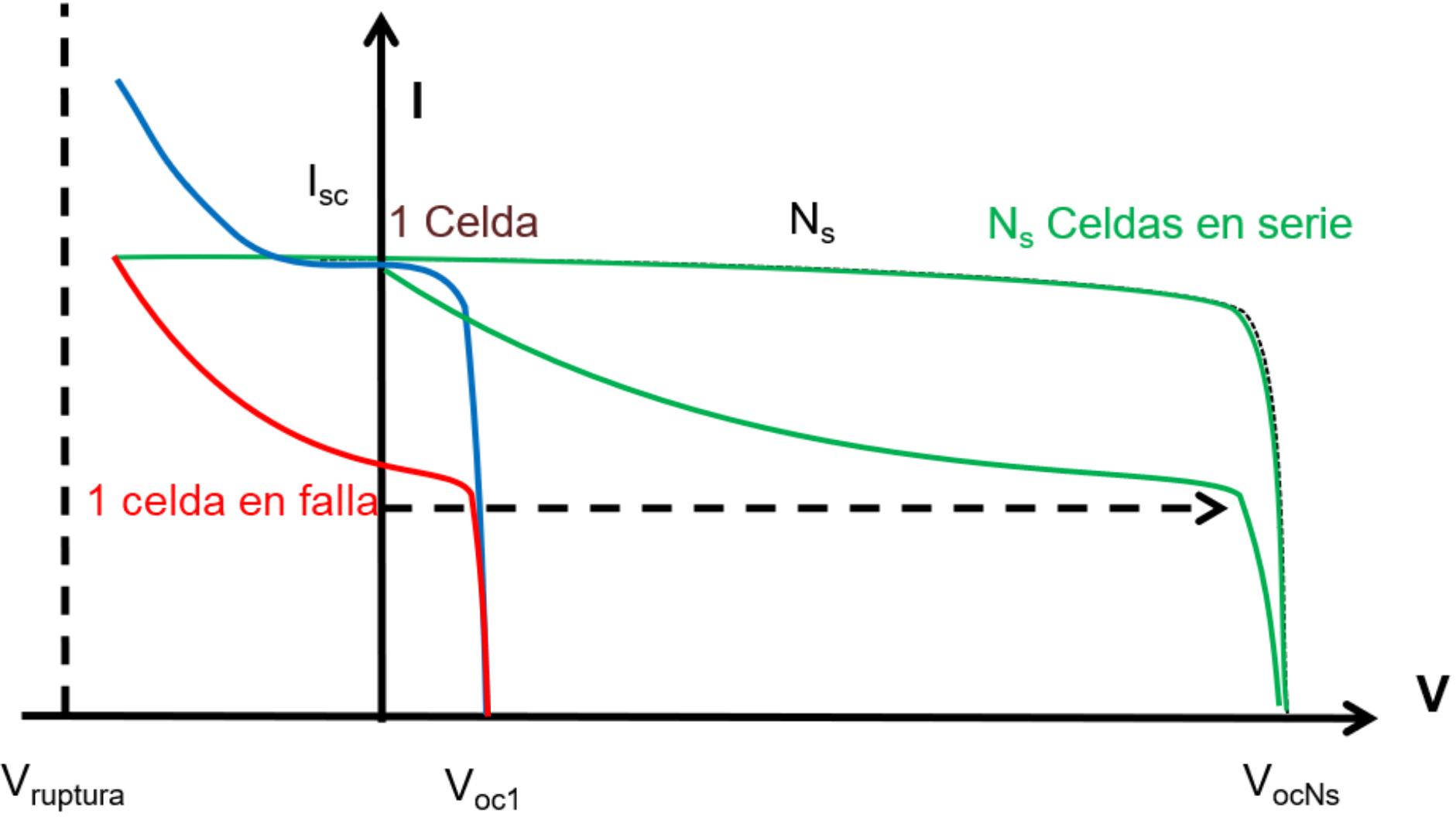
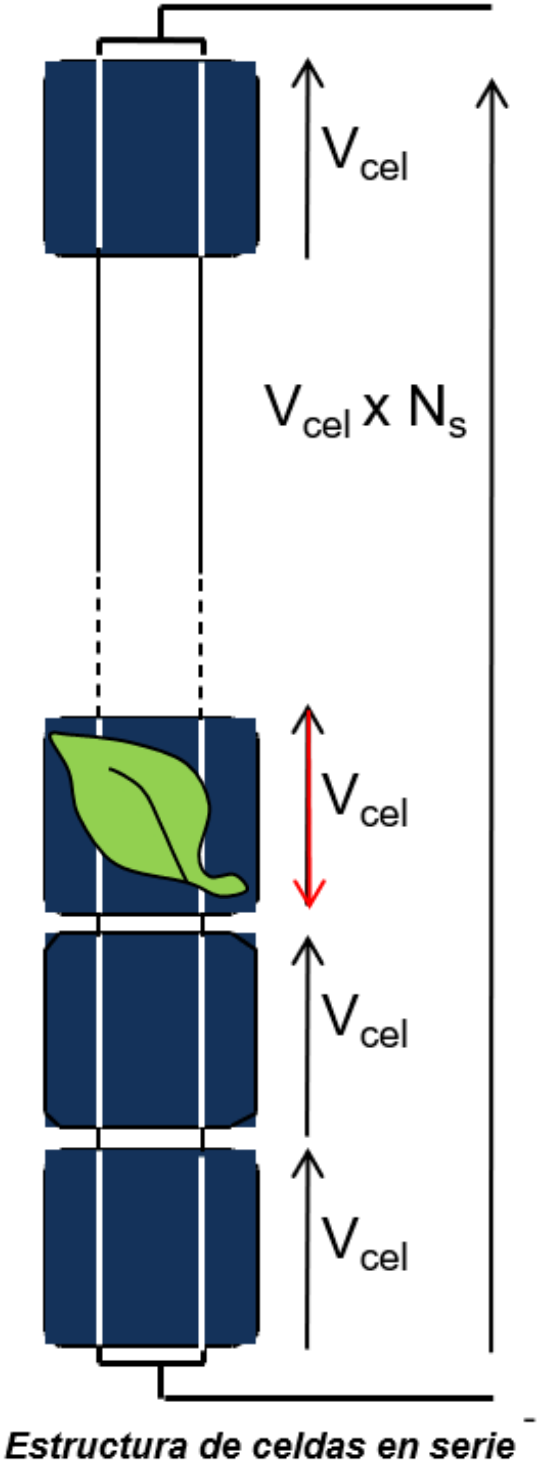
Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica



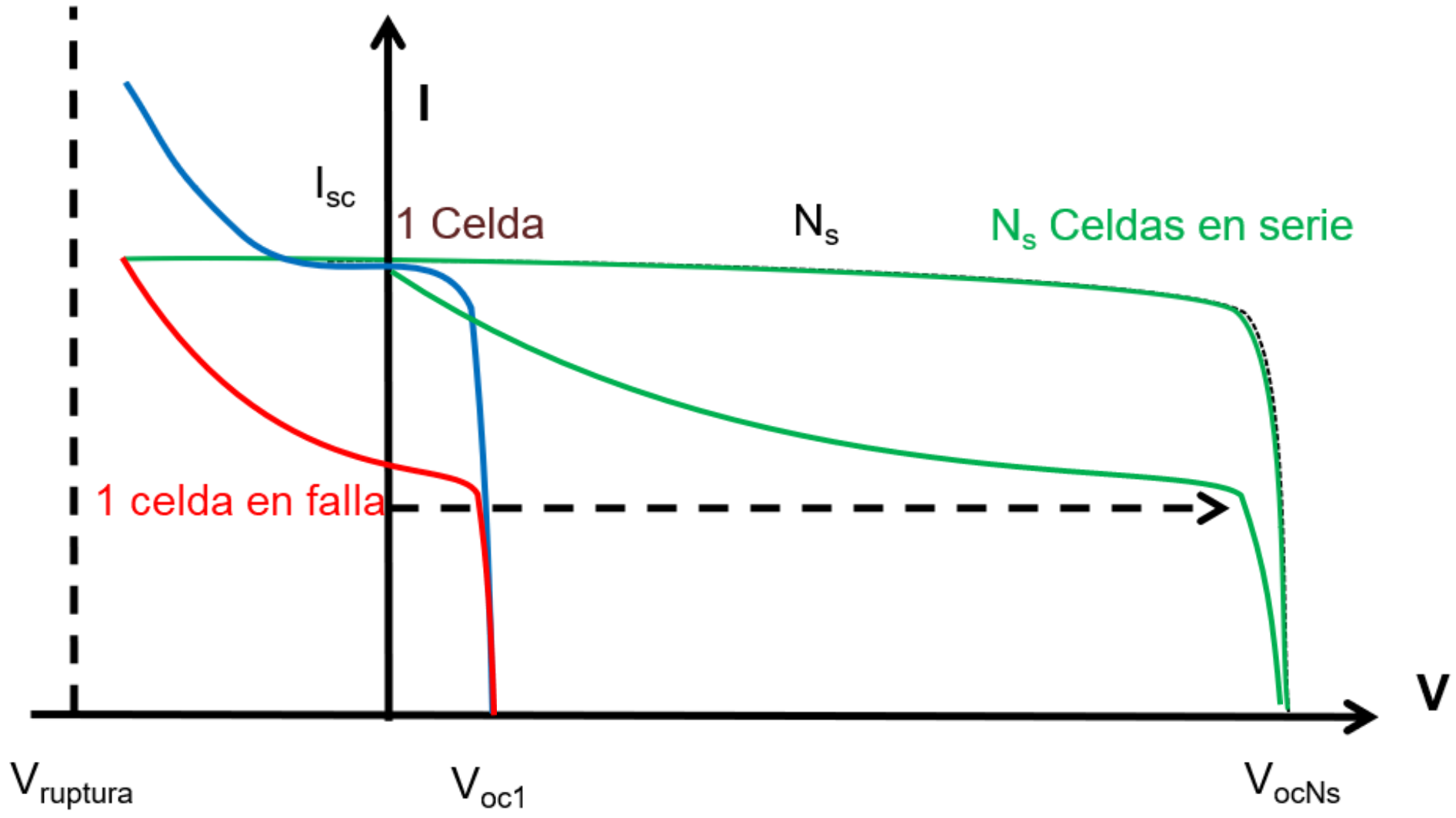
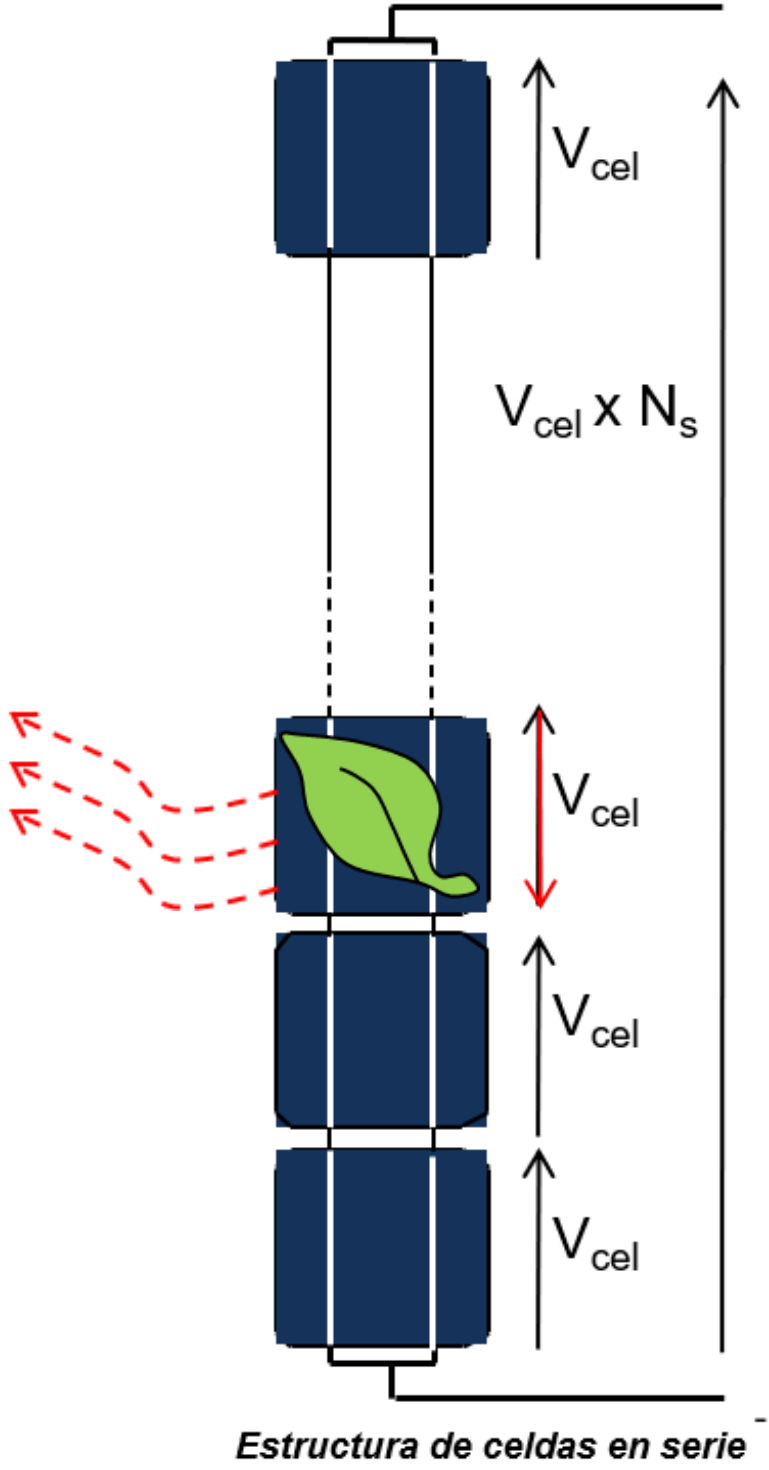
Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica



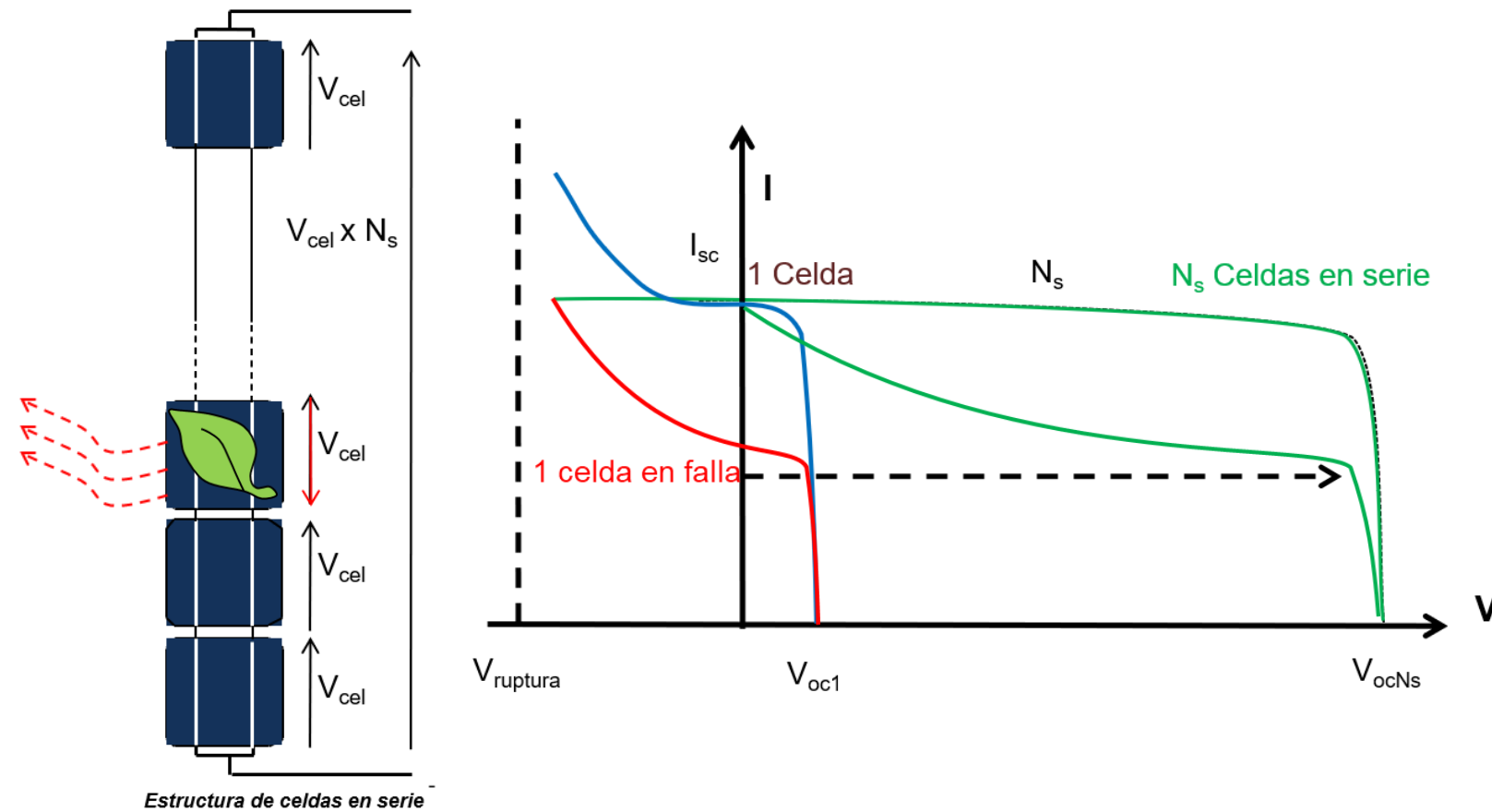
Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica



Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica



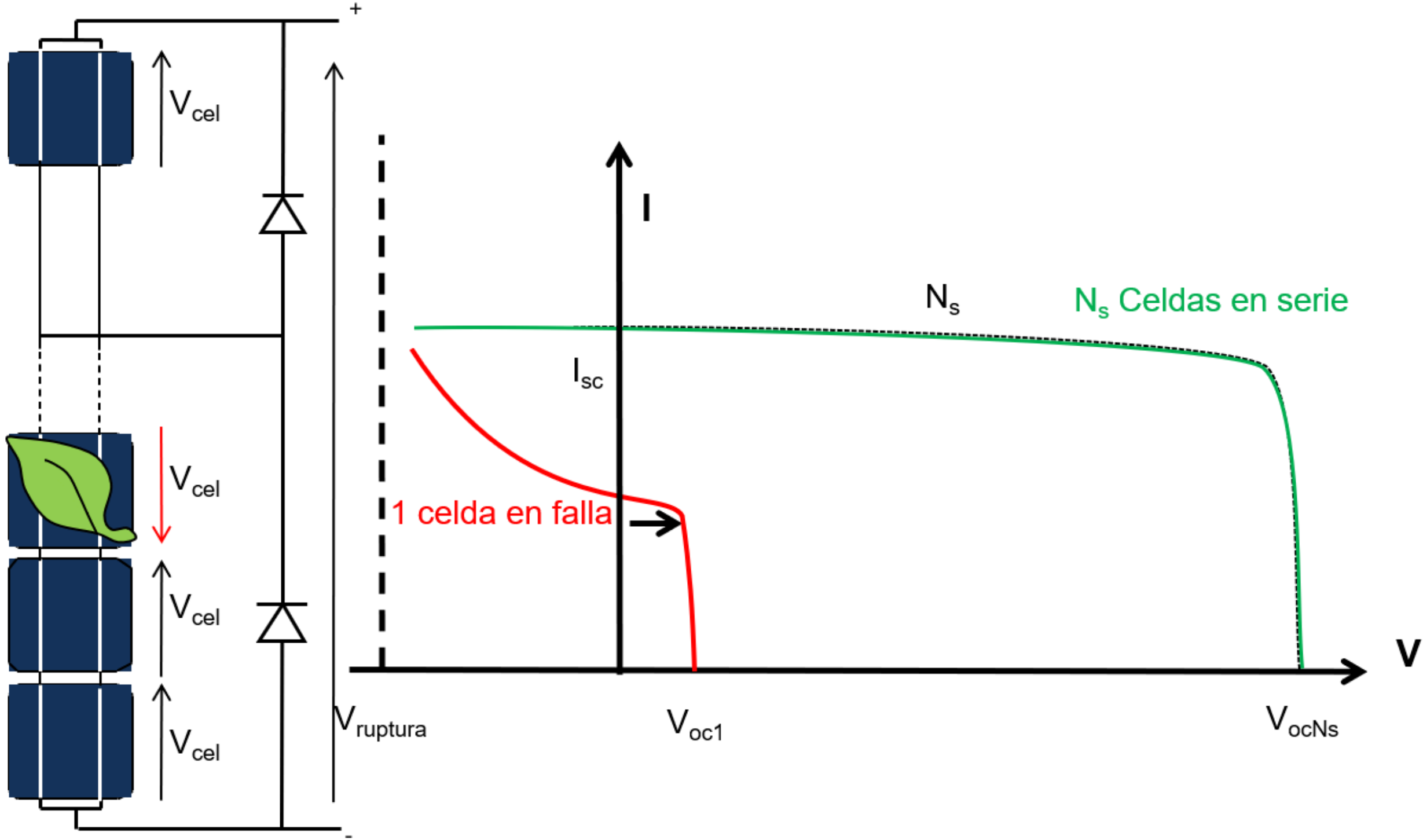
Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica



Consecuencias

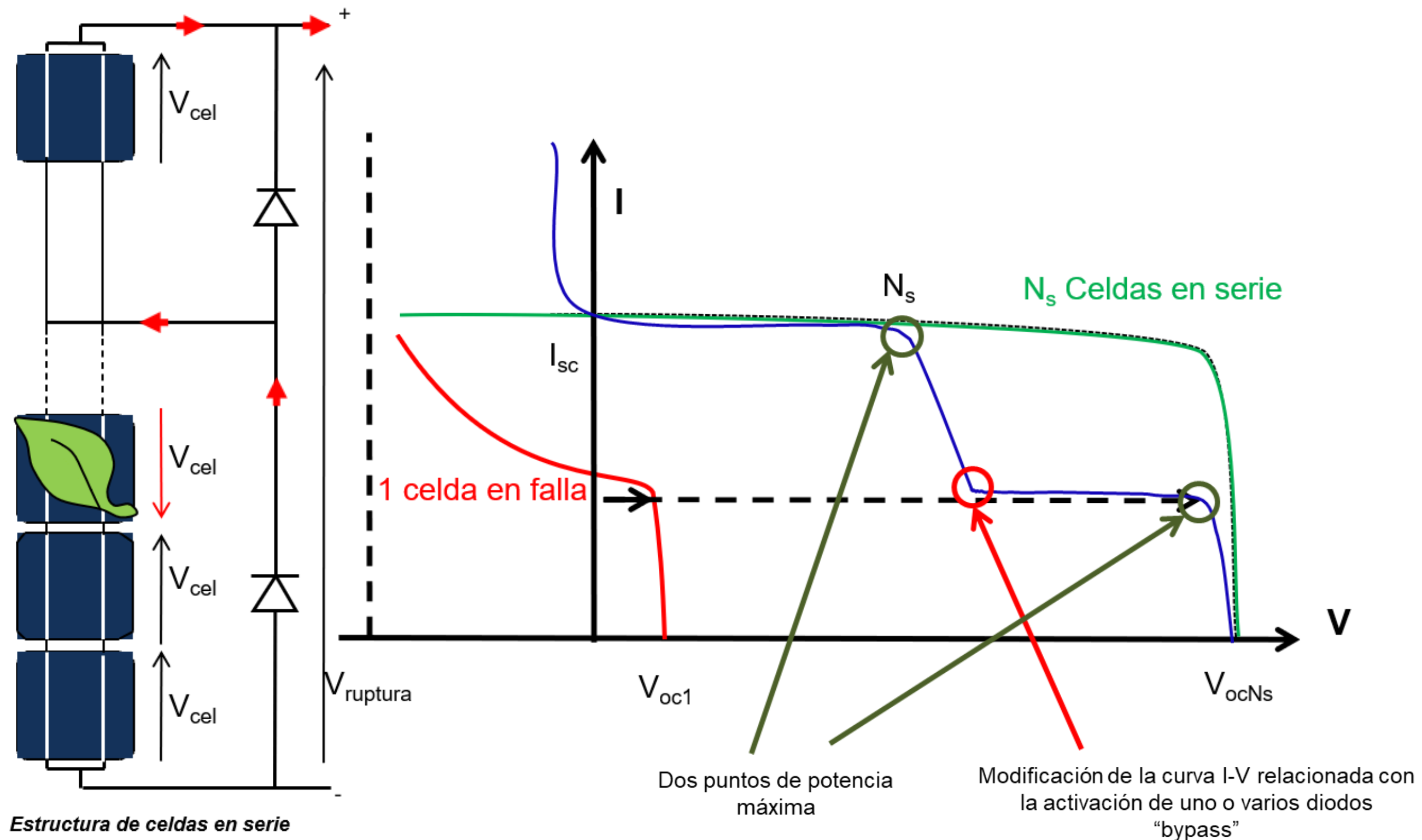
- Limitación de corriente
- Aumento en la temp. de la celda (hotspot)
- Degradación de celdas
- Riesgo de fisuras
- Ruptura de la unión

Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica

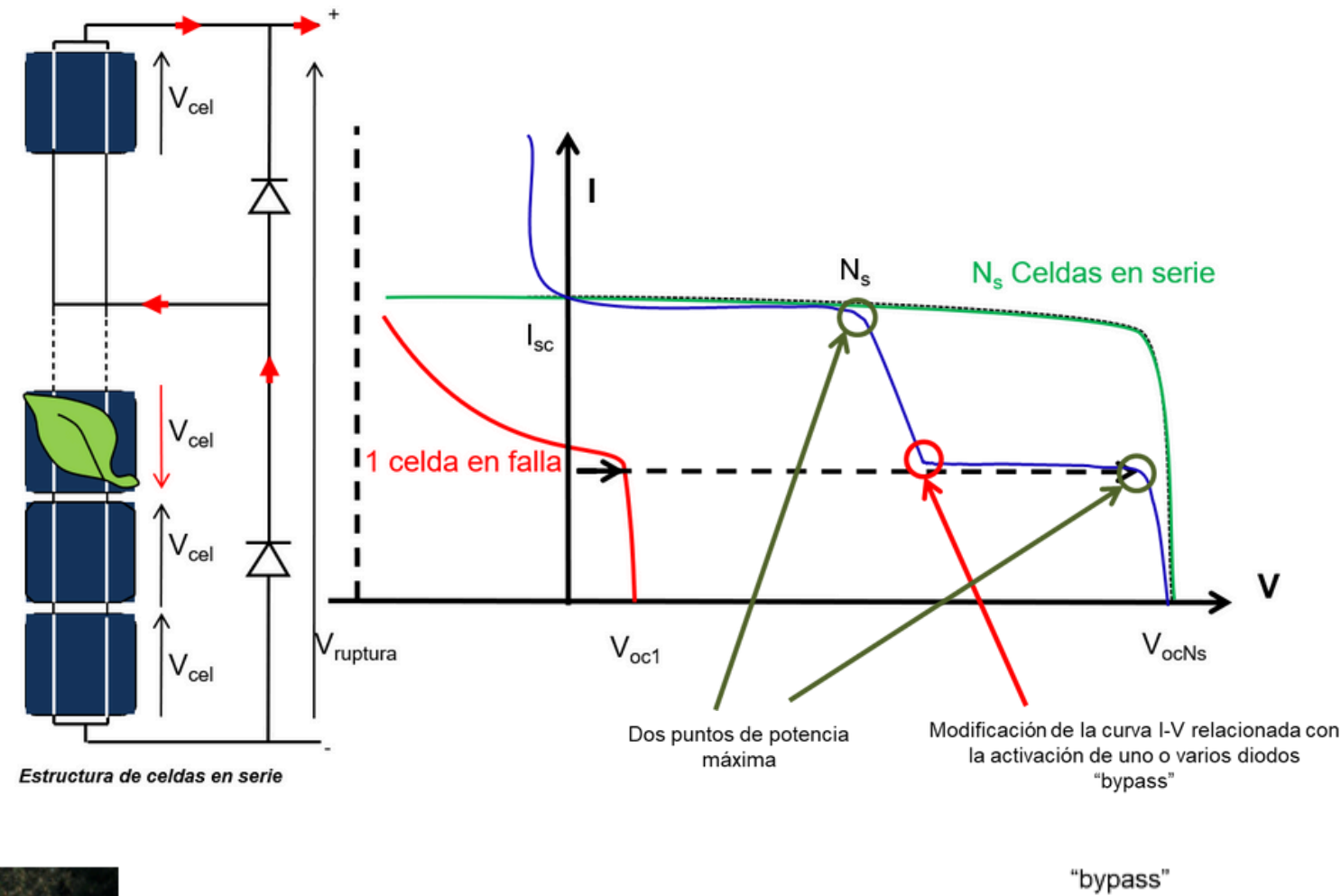


Estructura de celdas en serie

Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica



Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica



Sombra variable relacionada con el entorno externo y la posición del sol

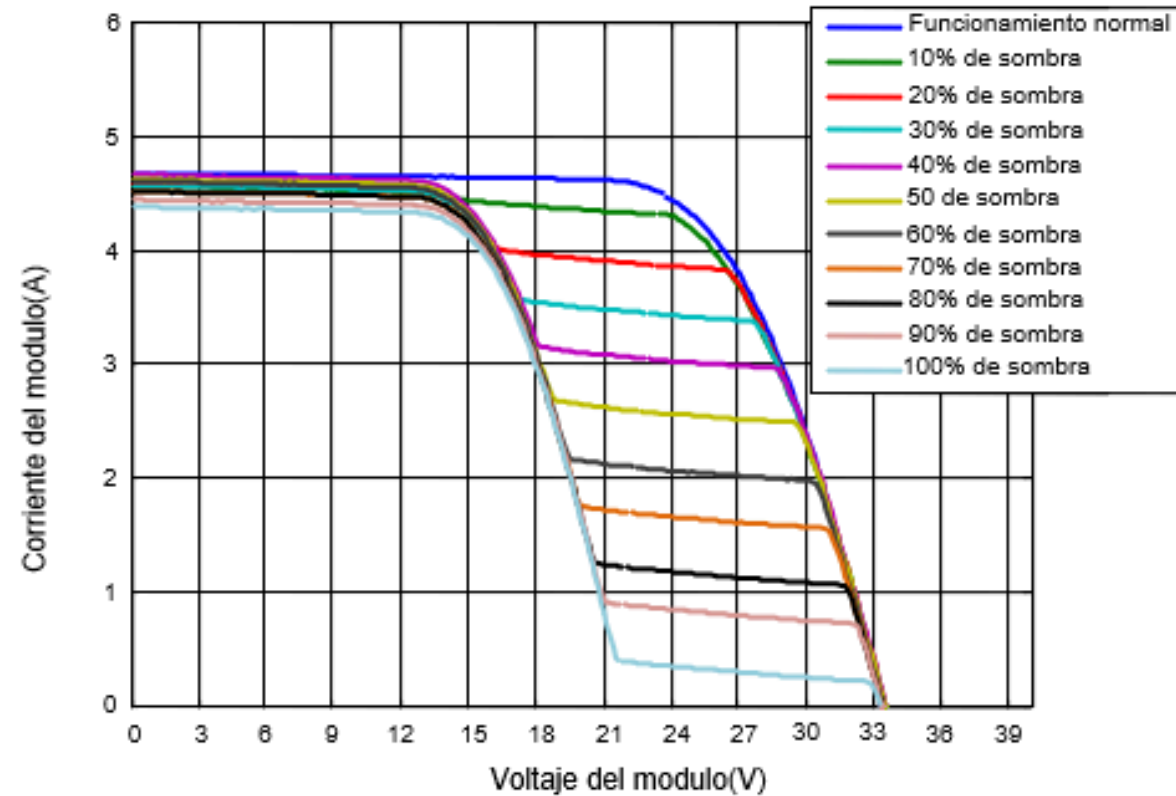
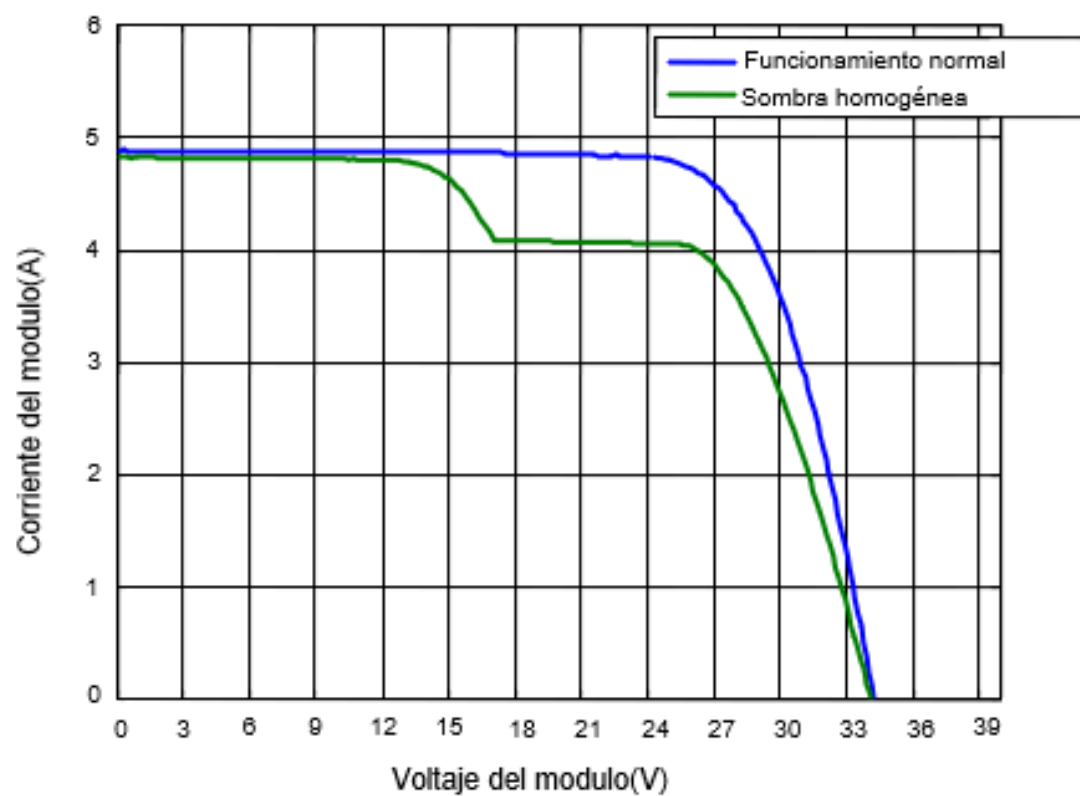
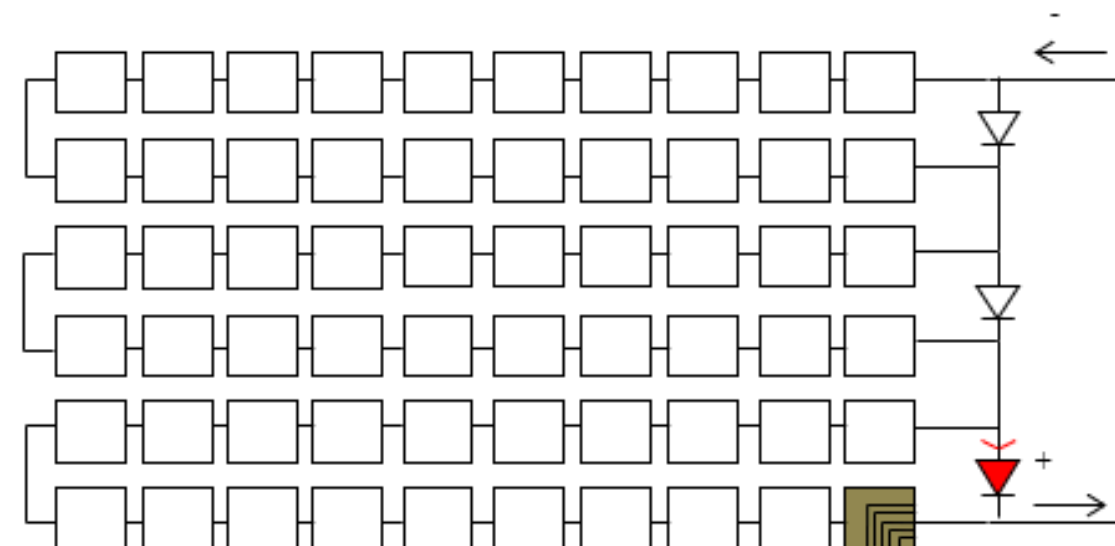
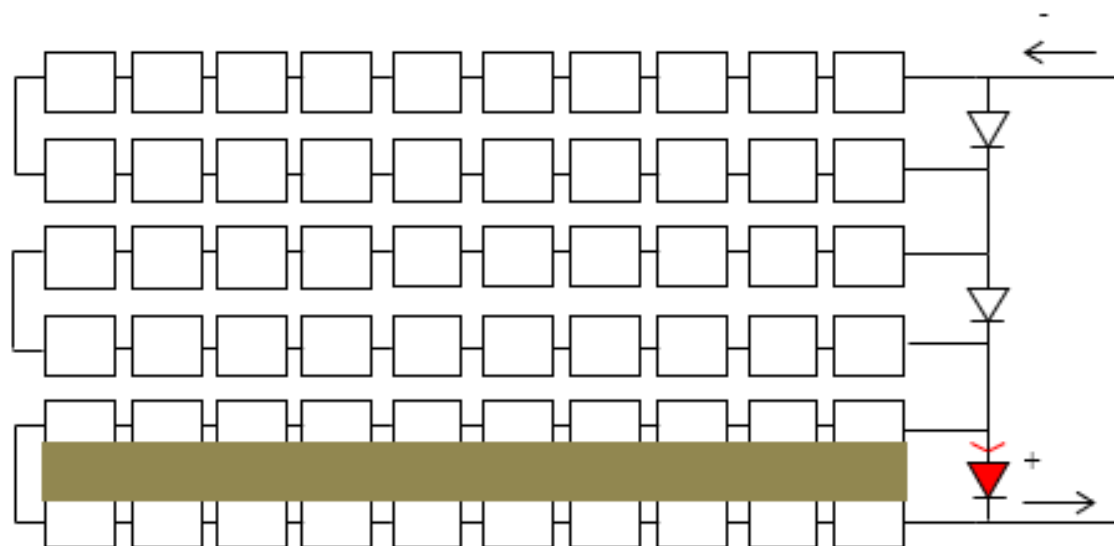


Sombra fija relacionado con la suciedad de los paneles

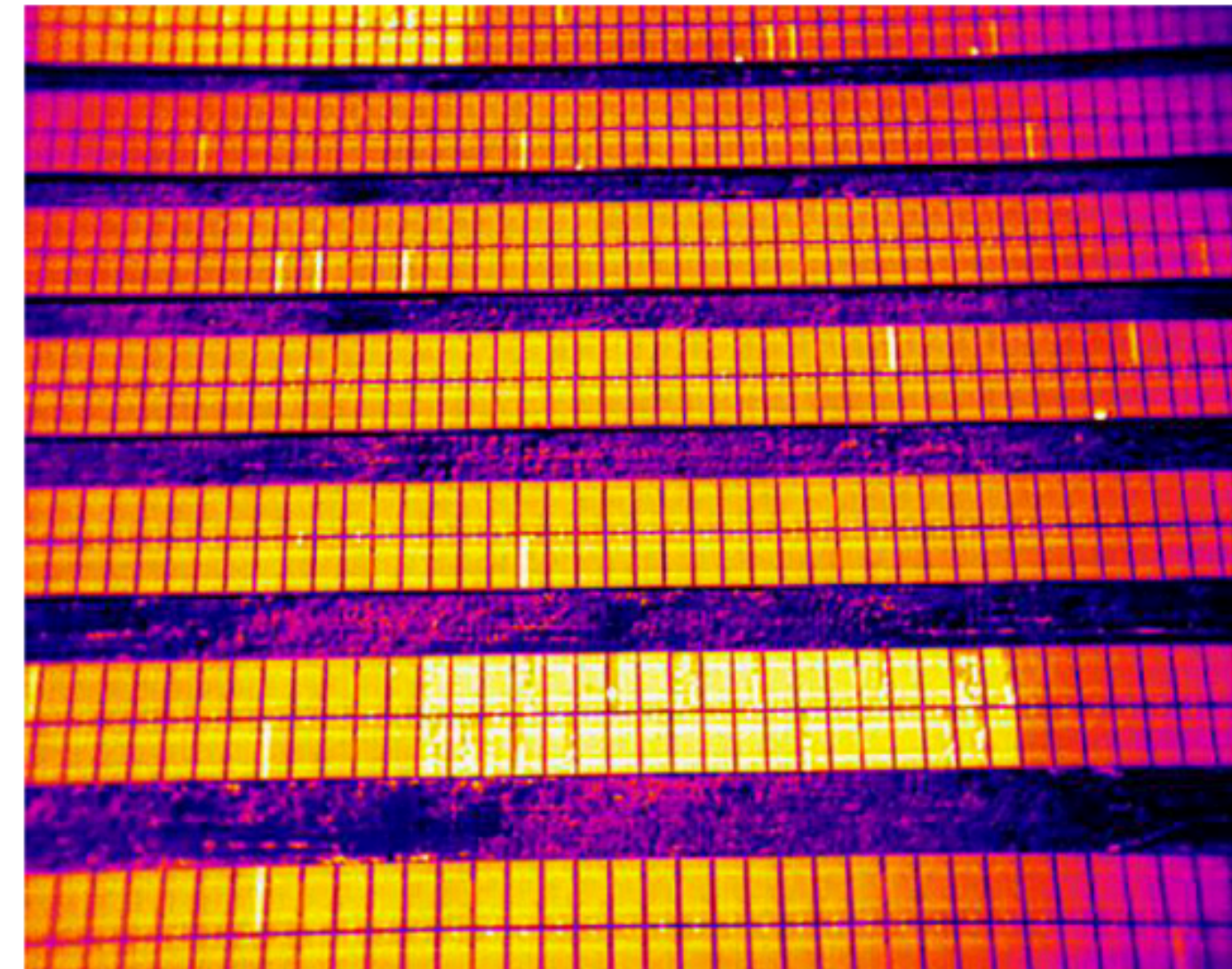
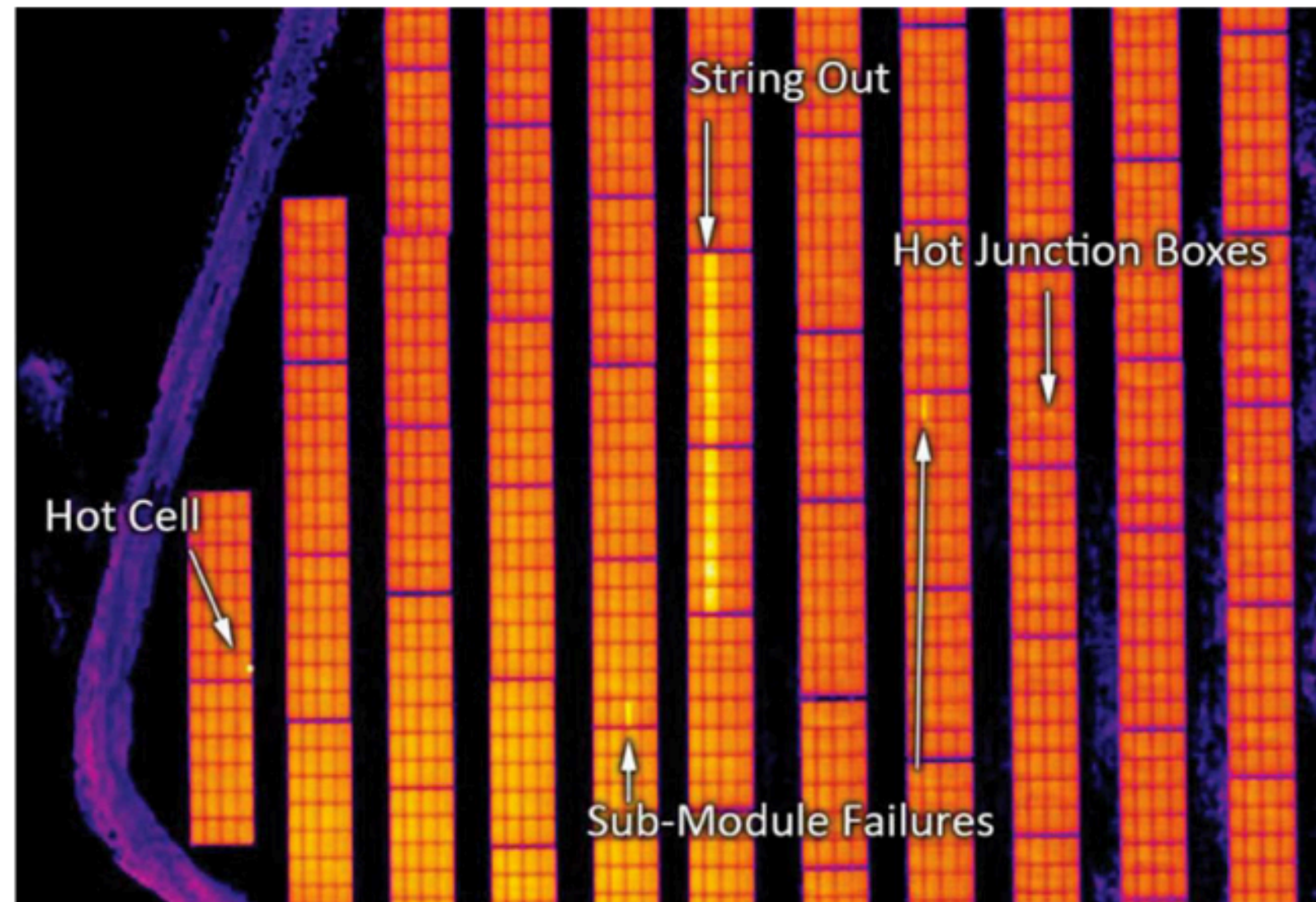


Sombra intermitente relacionada a los nubes

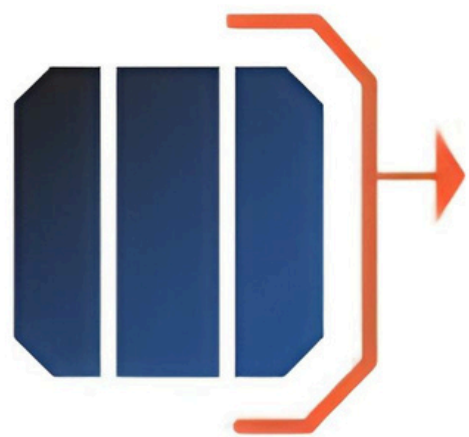
Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica (Sombreado)



Característica eléctrica de una celda solar fotovoltaica (Sombreado)

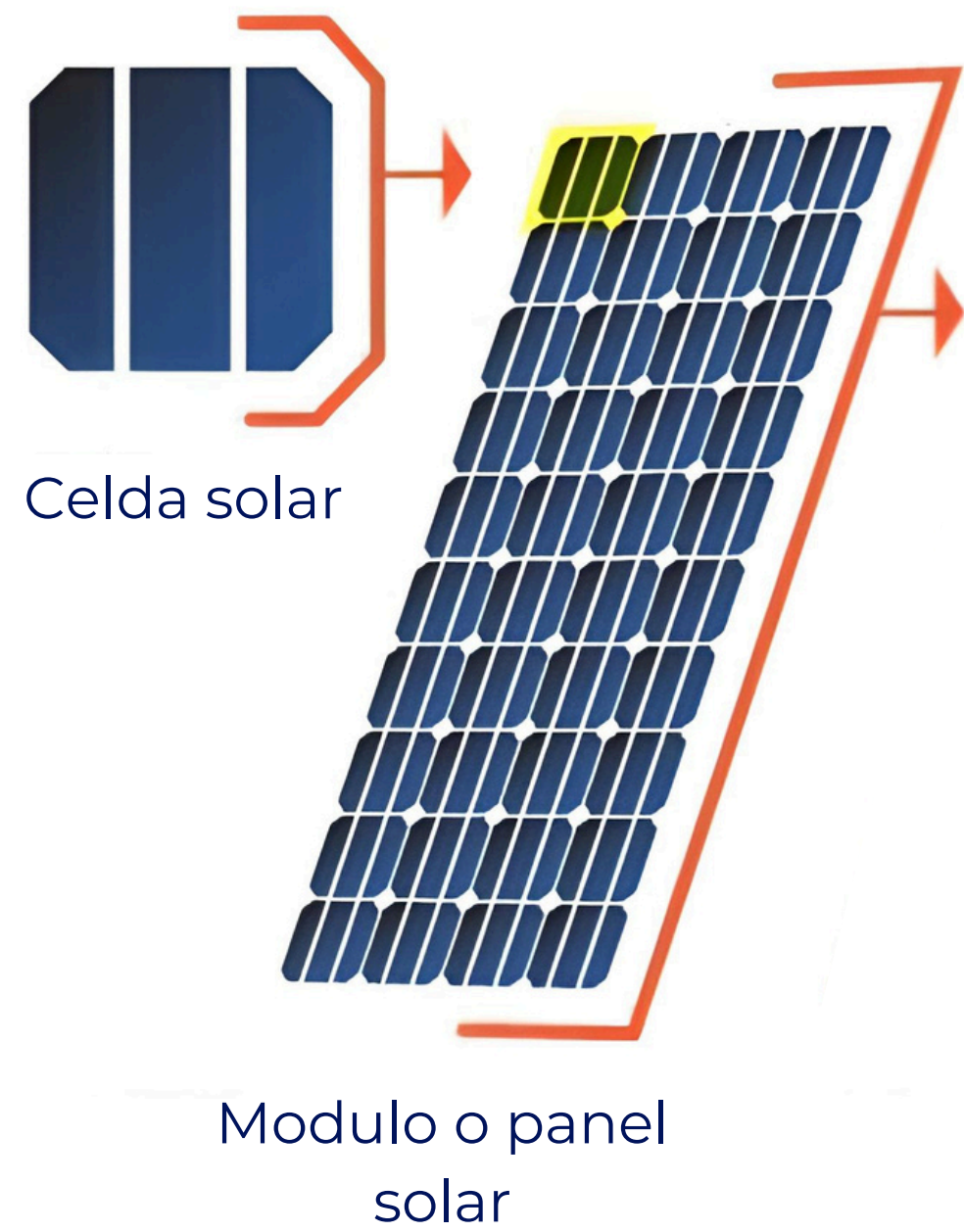


Arreglos fotovoltaicos

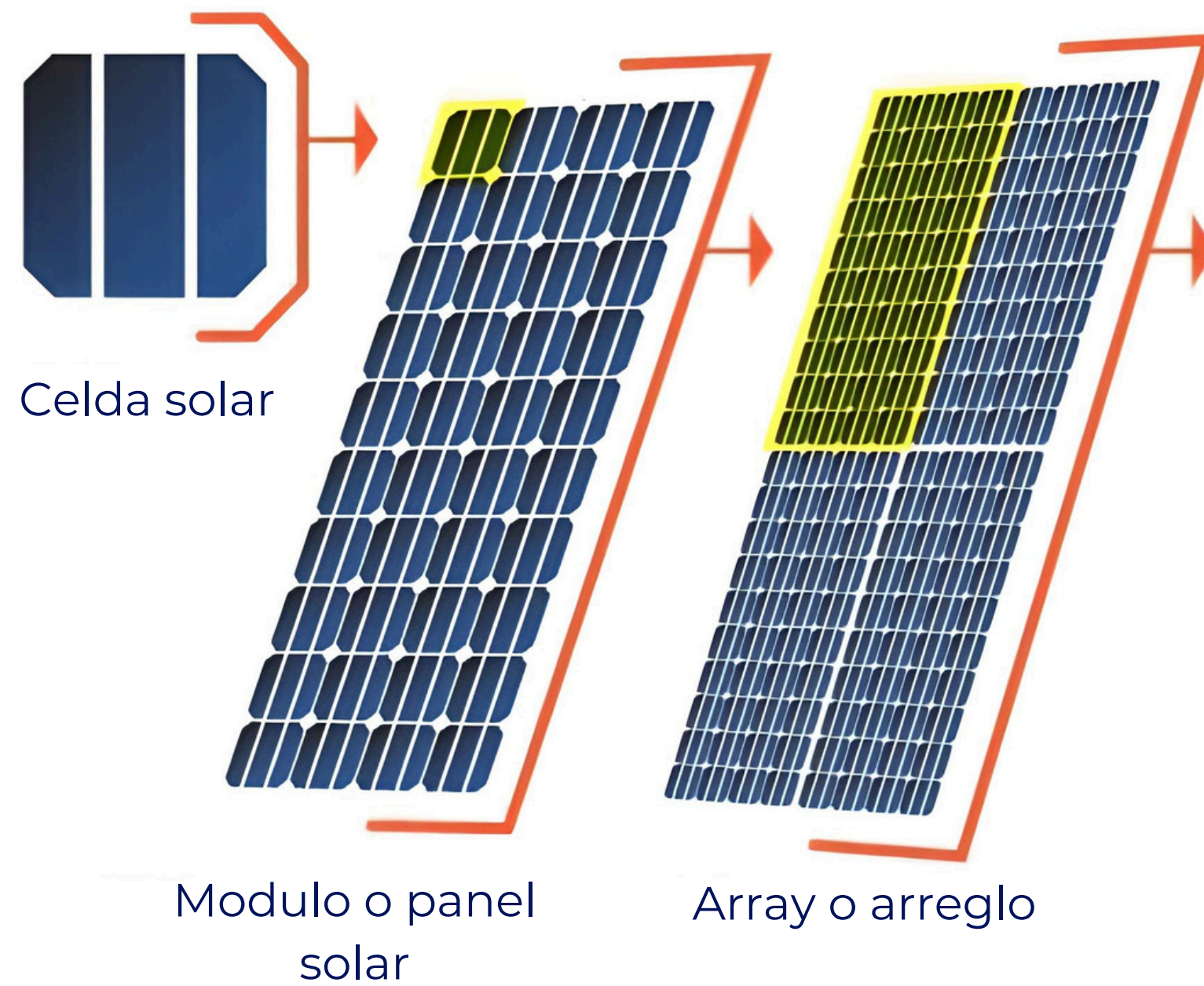


Celda solar

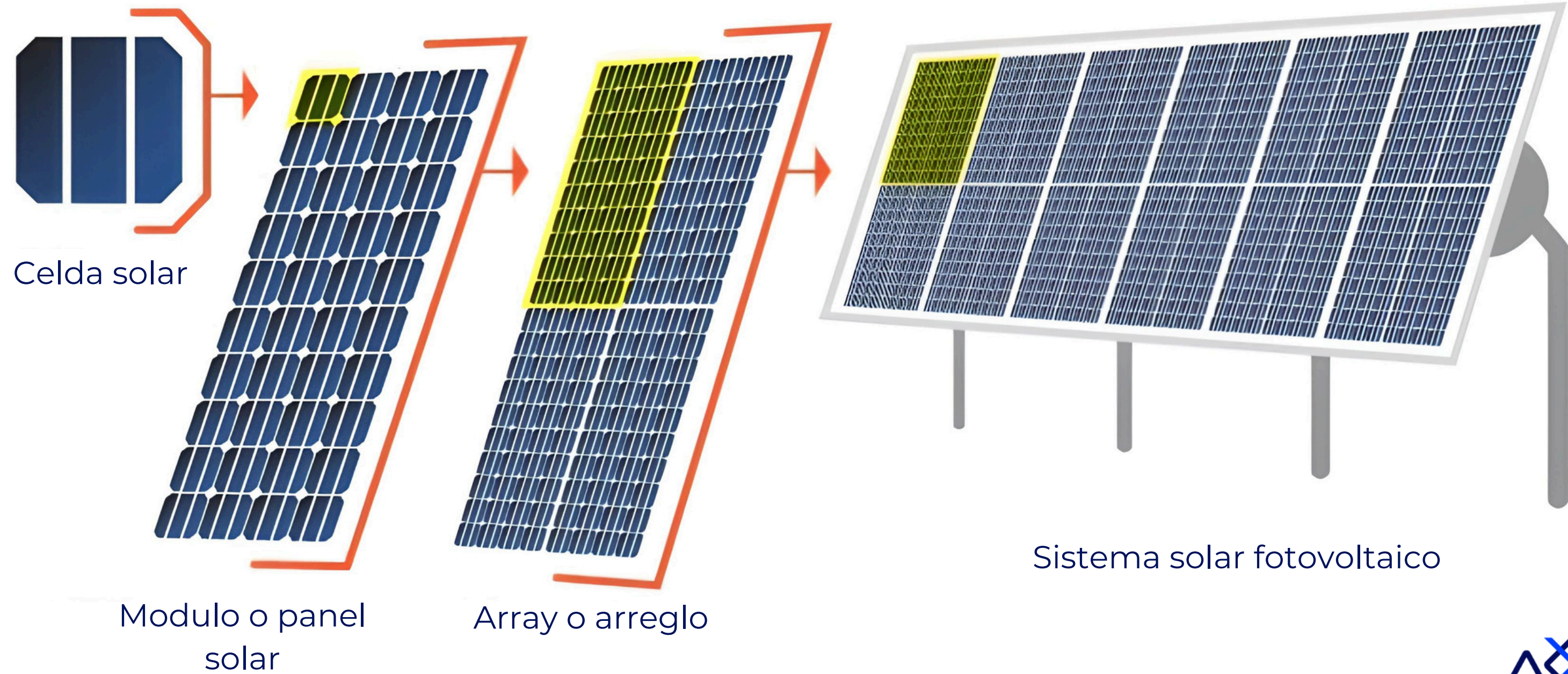
Arreglos fotovoltaicos



Arreglos fotovoltaicos



Arreglos fotovoltaicos



Tipos de sistemas PV por tamaño

Pequeña escala

- Tipo residencial o comercial
- Entregas de excedente
- Conexión en baja tensión
- 0 - 3kW



Pequeña escala

- Tipo residencial o comercial
- Entregas de excedente
- Conexión en baja tensión
- 0 - 3kW



Mediana escala

- Instalaciones industriales
- Mayor carga
- Equipos de respaldo
- 3kW - 1MW



Pequeña escala

- Tipo residencial o comercial
- Entregas de excedente
- Conexión en baja tensión
- 0 - 3kW



Mediana escala

- Instalaciones industriales
- Mayor carga
- Equipos de respaldo
- 3kW - 1MW



Gran escala

- Conexión a la red
- Equipos de potencia
- Protección y control
- > 1MW

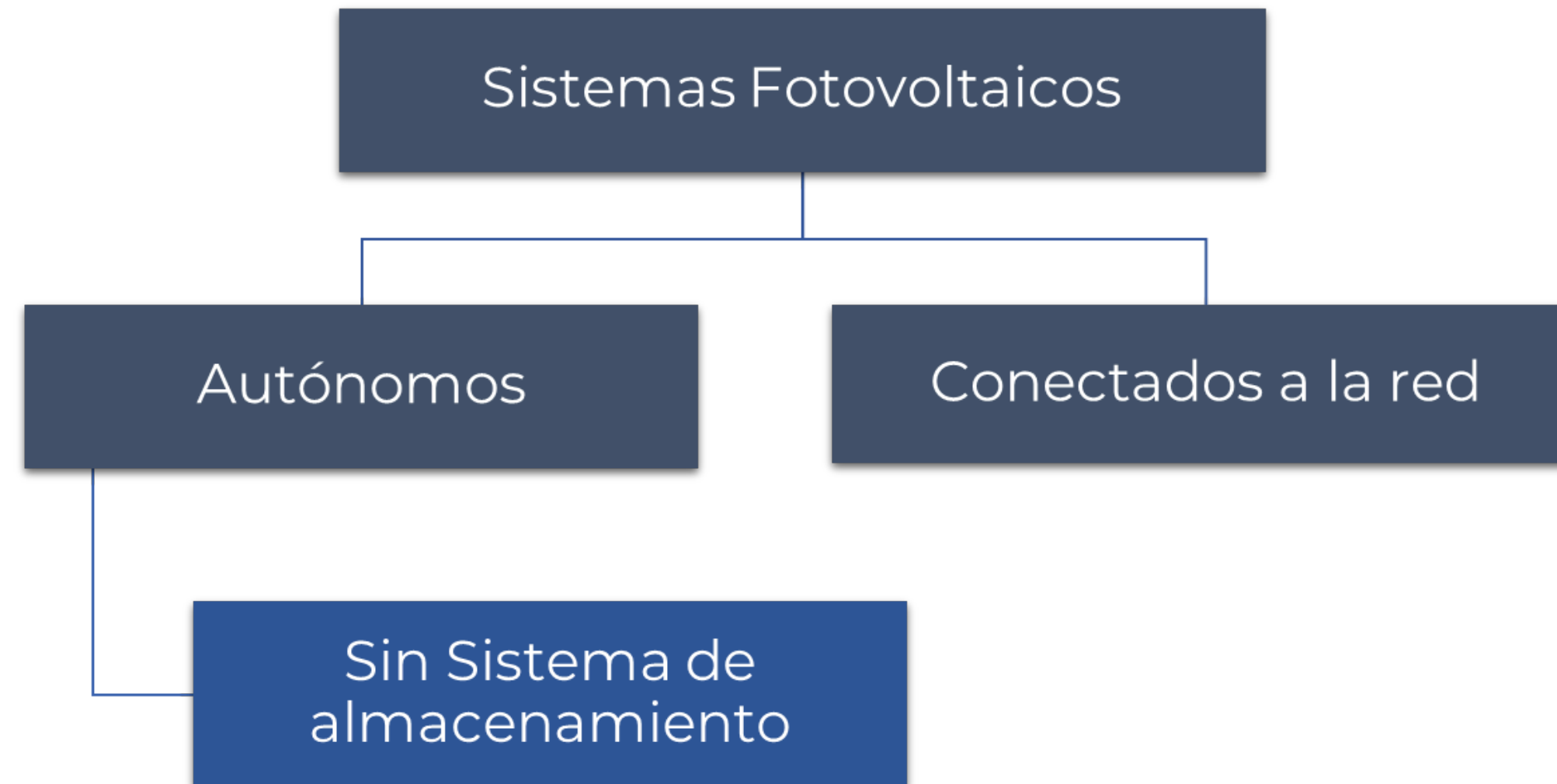


Tipos de sistemas PV por conexión

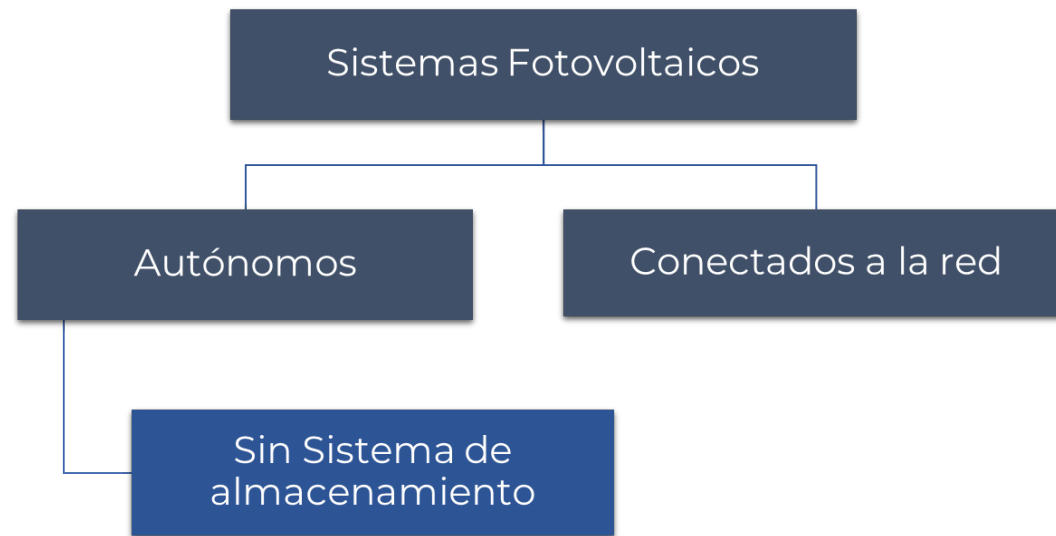
Tipos de sistemas PV por conexión



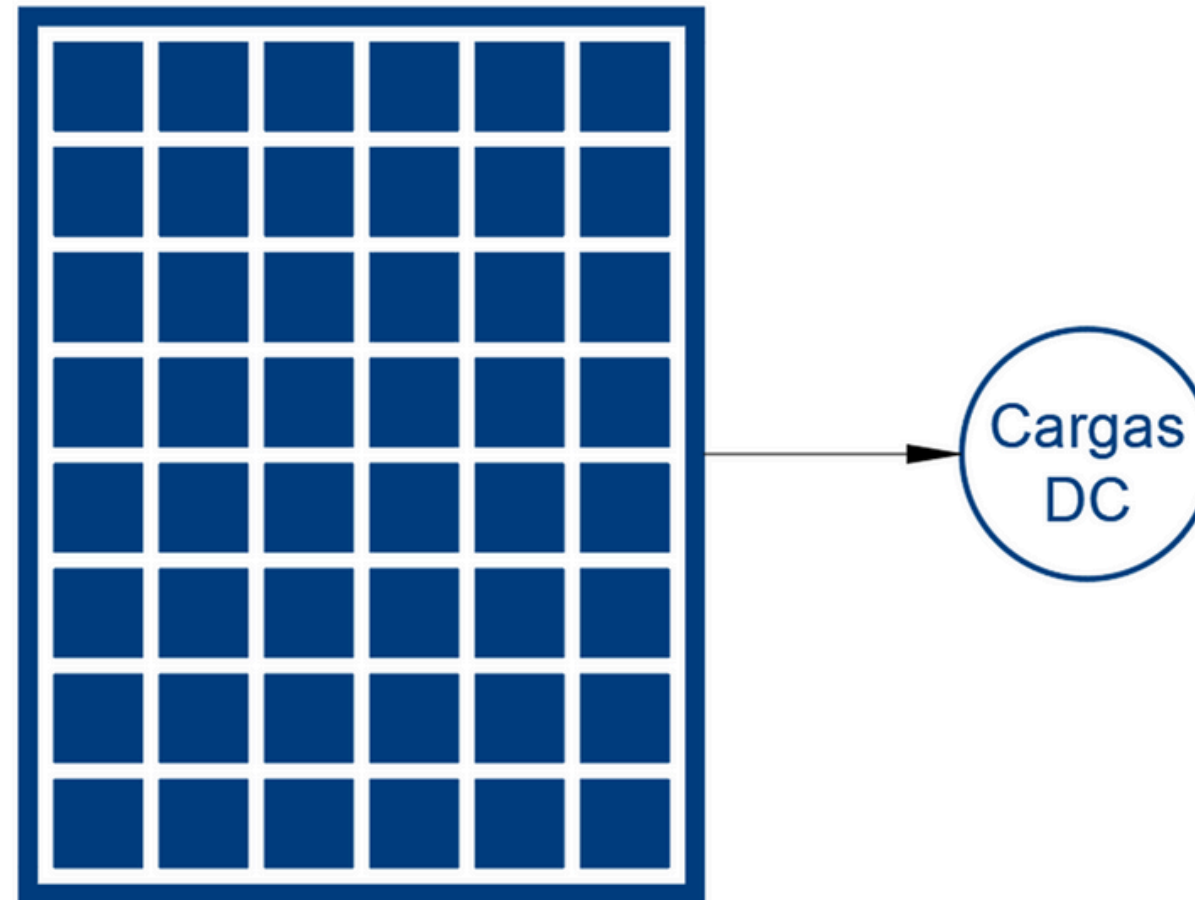
Tipos de sistemas PV por conexión



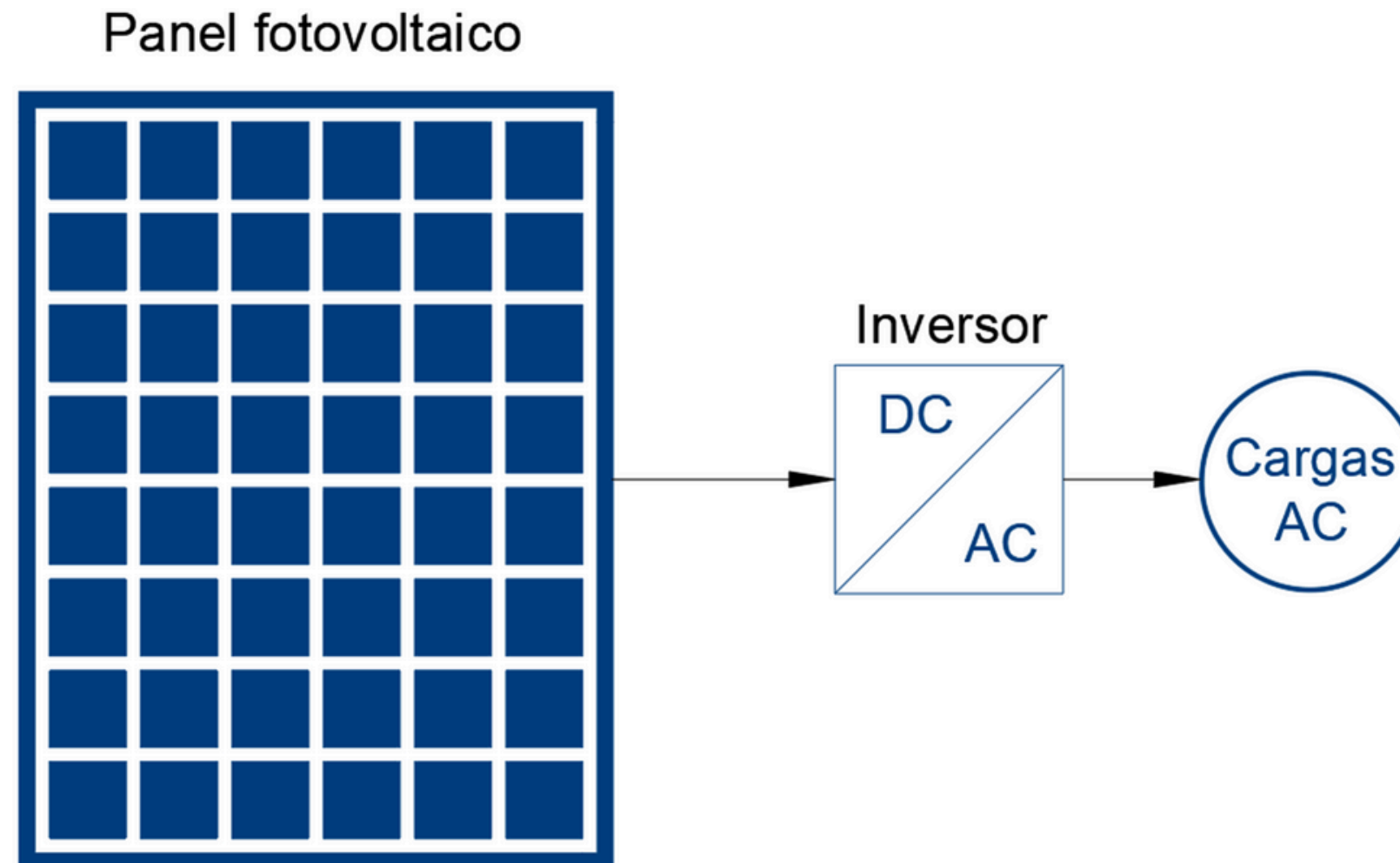
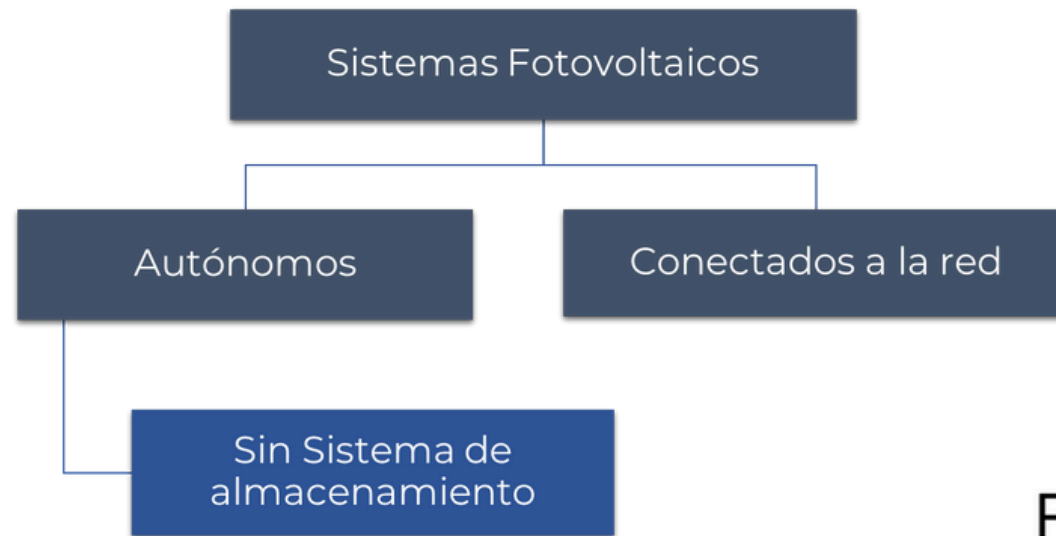
Tipos de sistemas PV por conexión



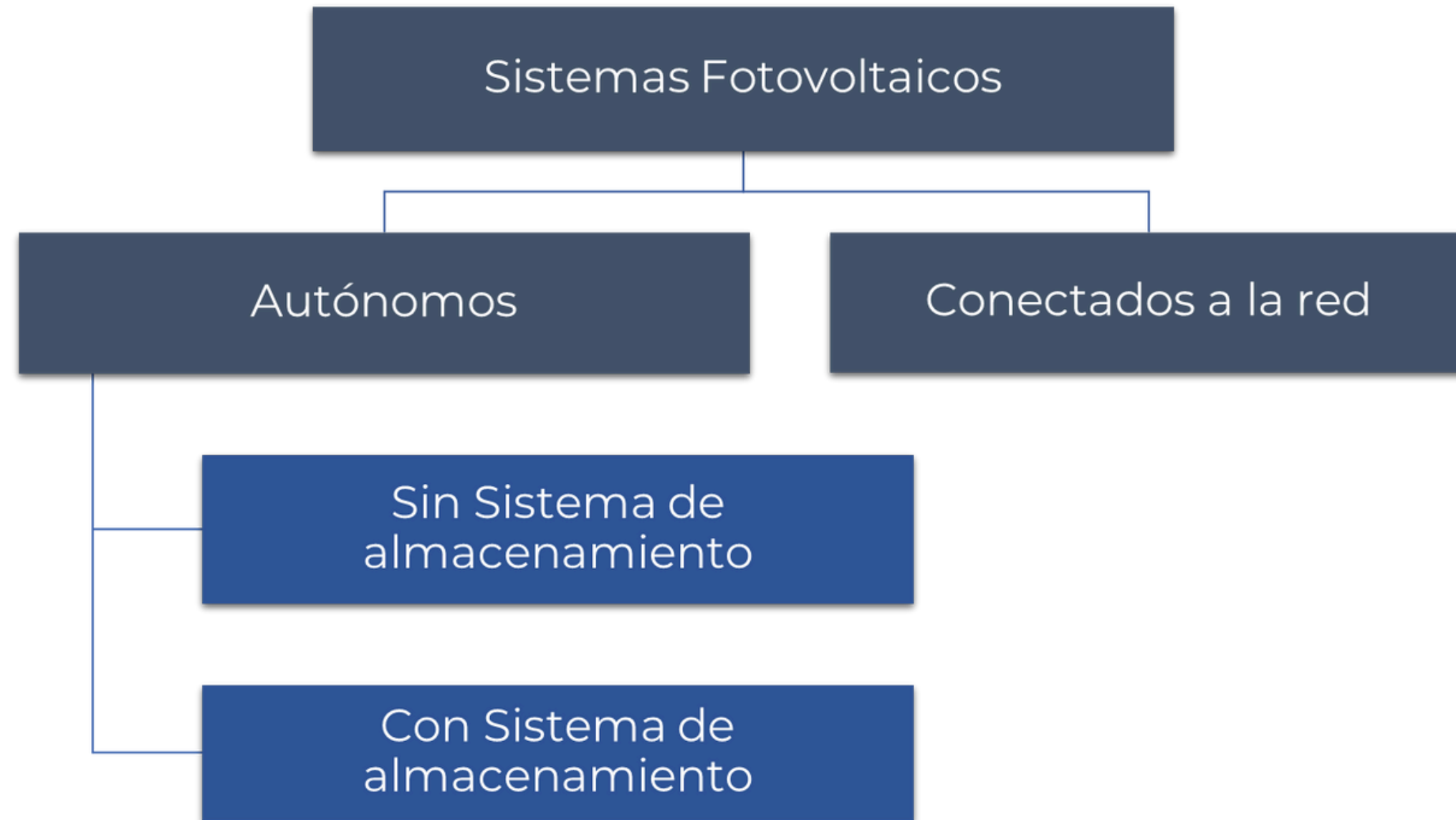
Panel fotovoltaico



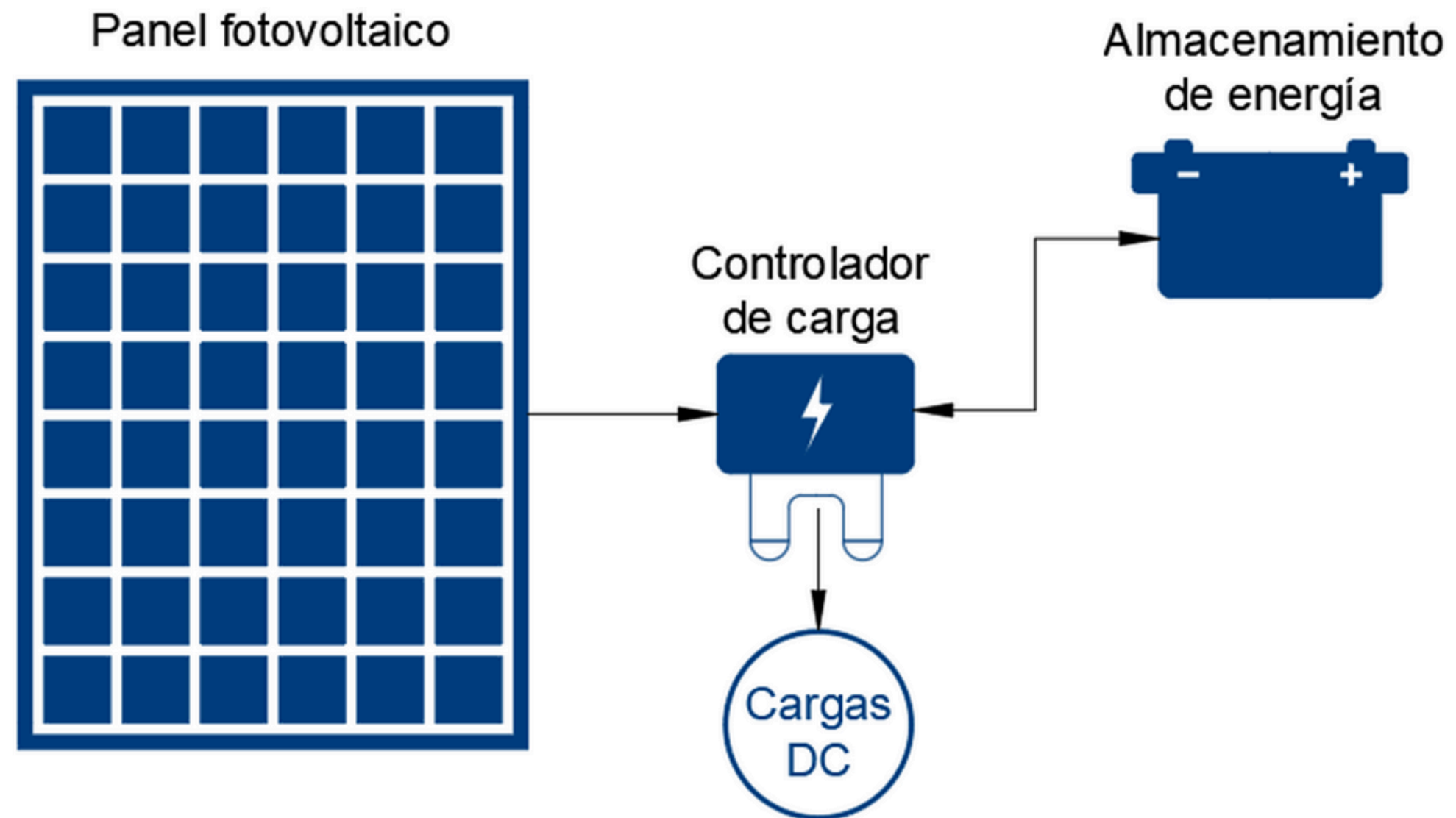
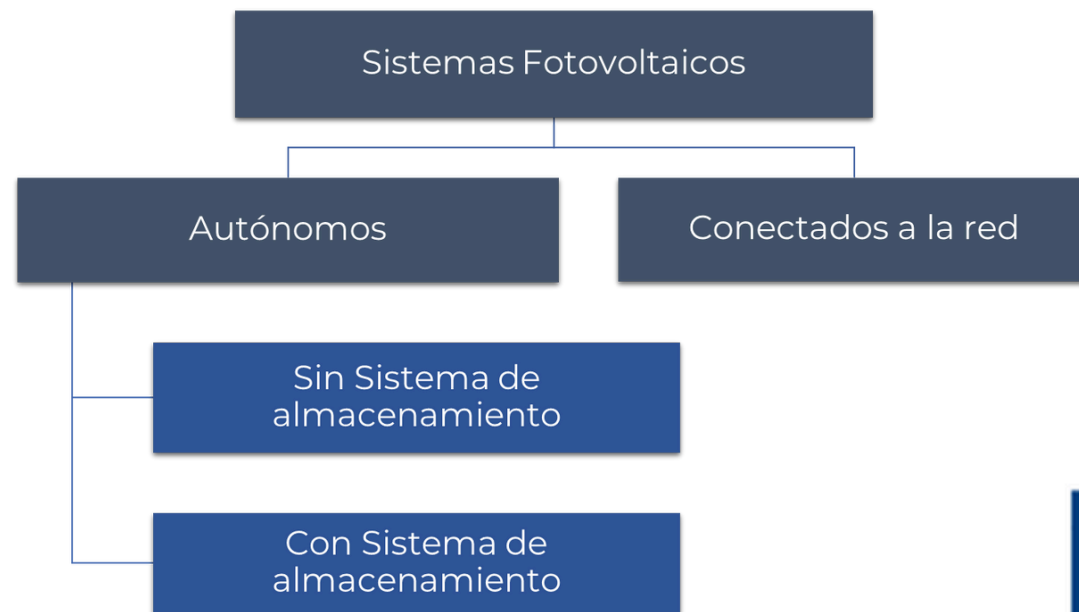
Tipos de sistemas PV por conexión



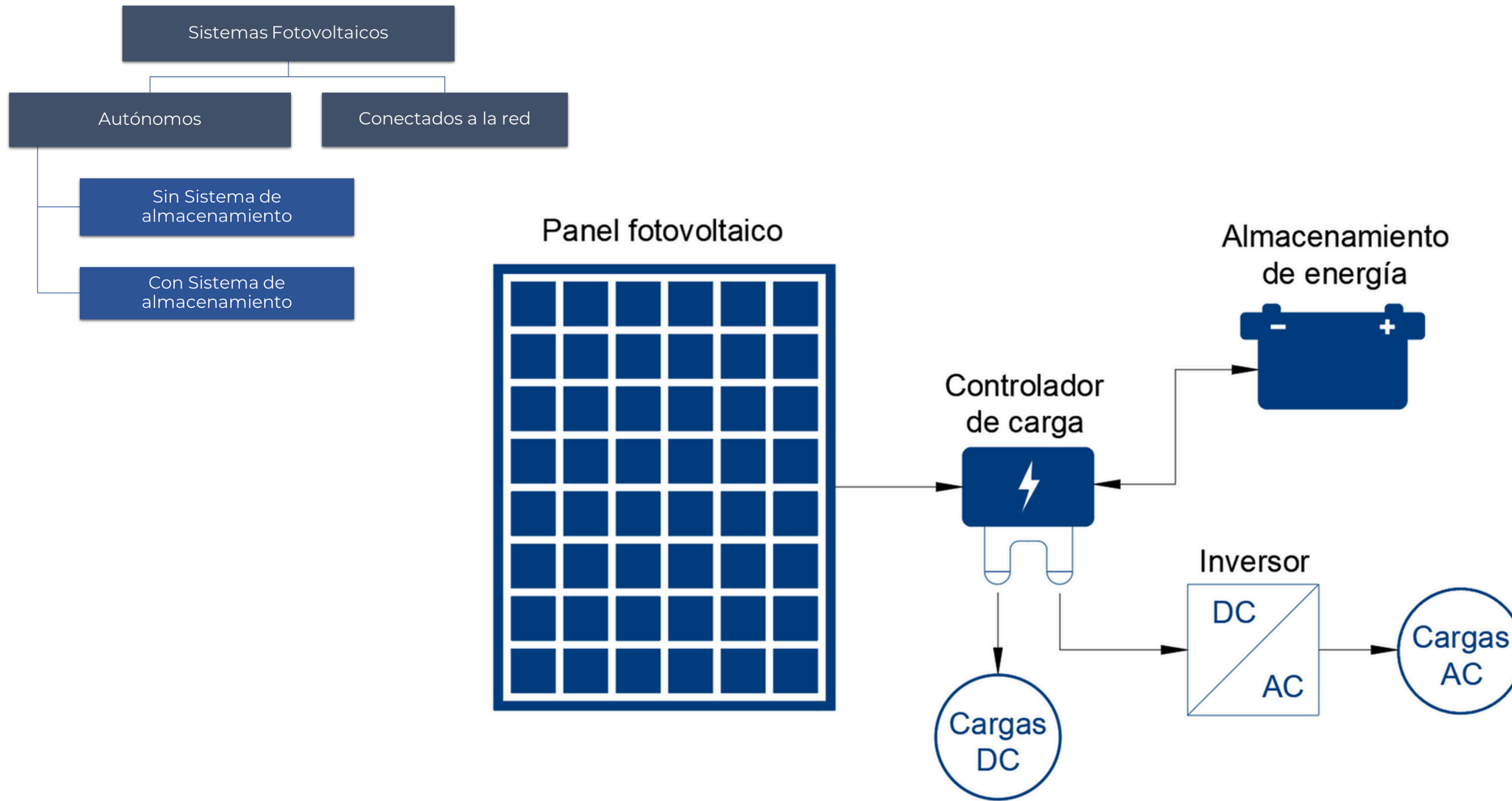
Tipos de sistemas PV por conexión



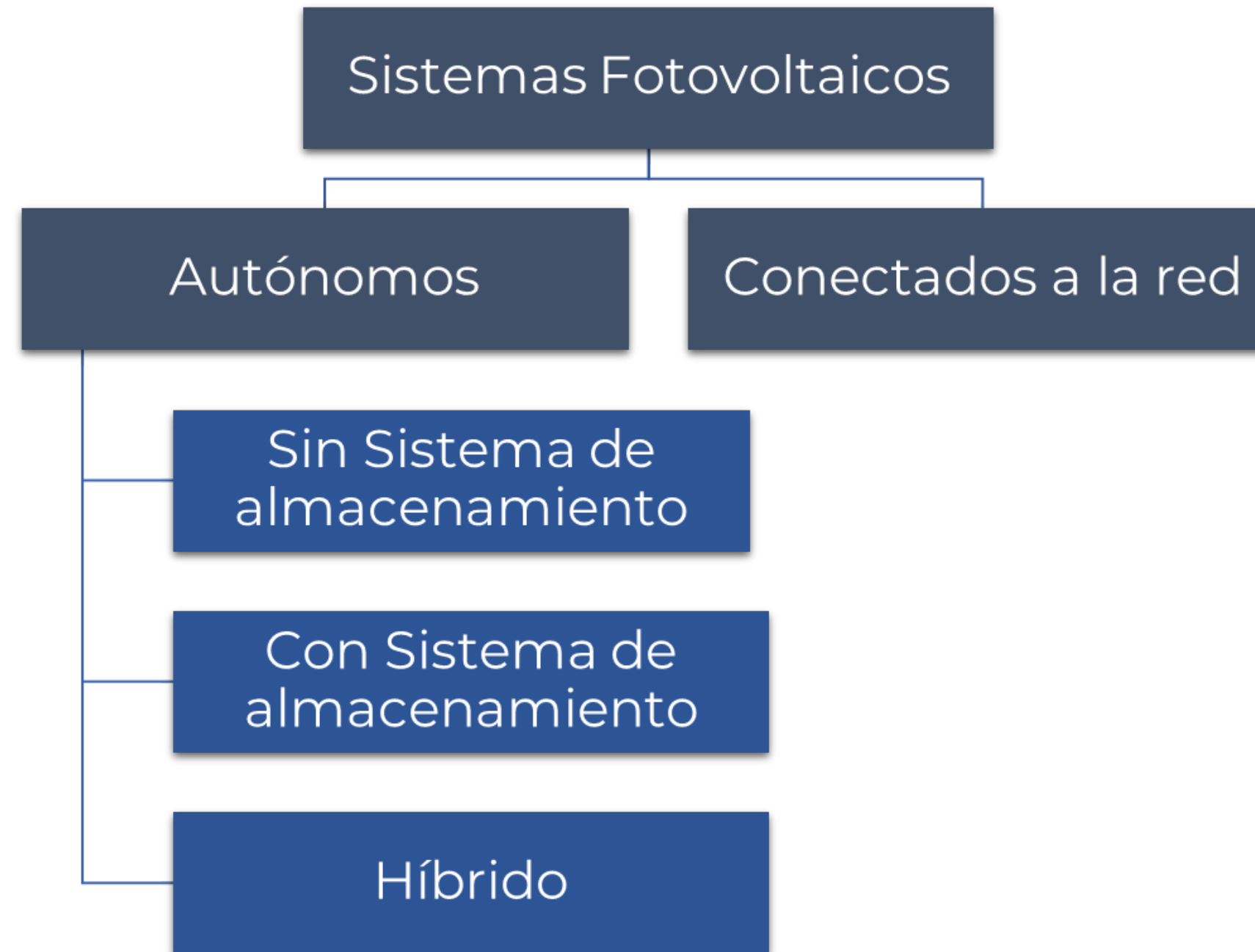
Tipos de sistemas PV por conexión



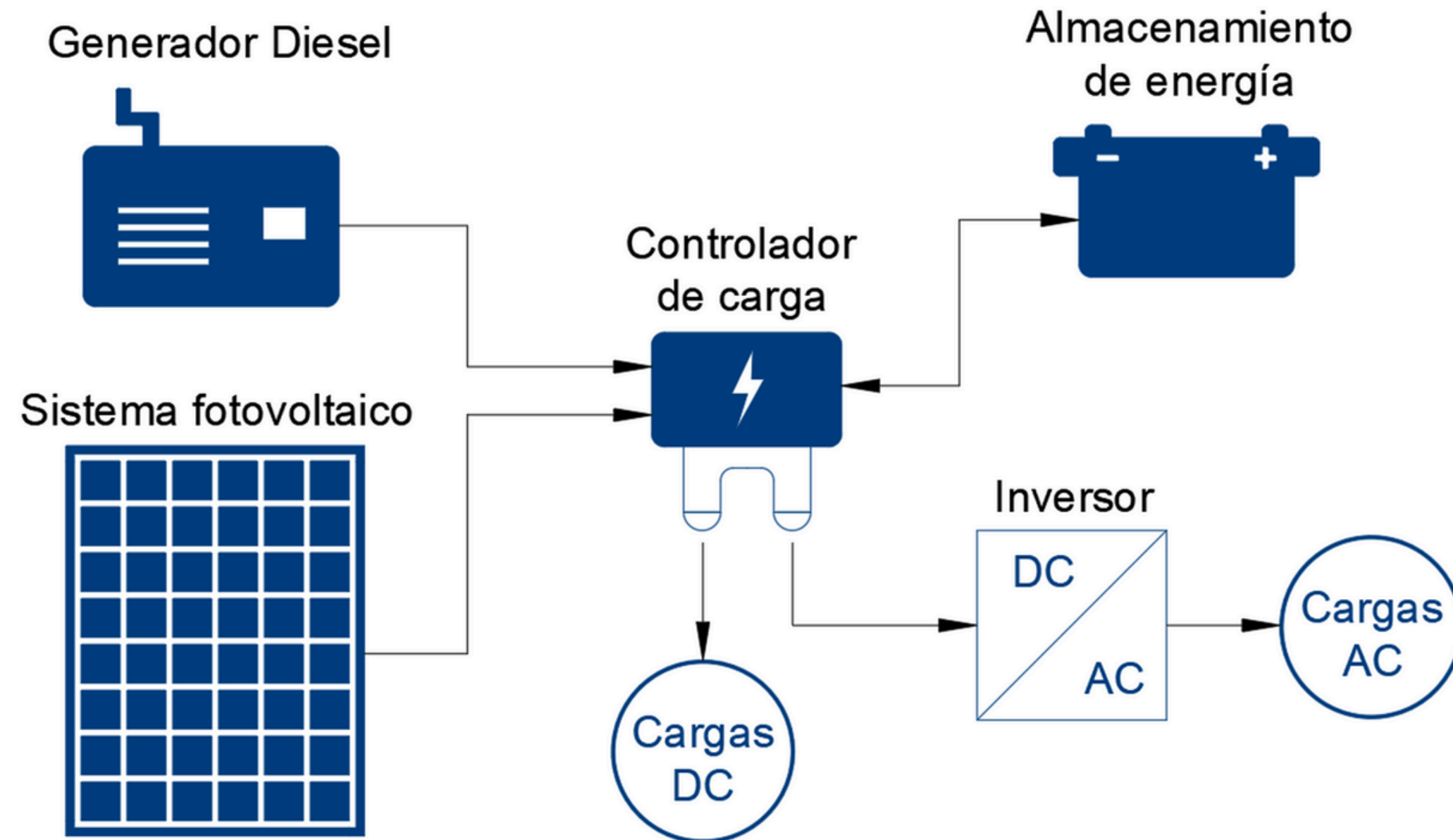
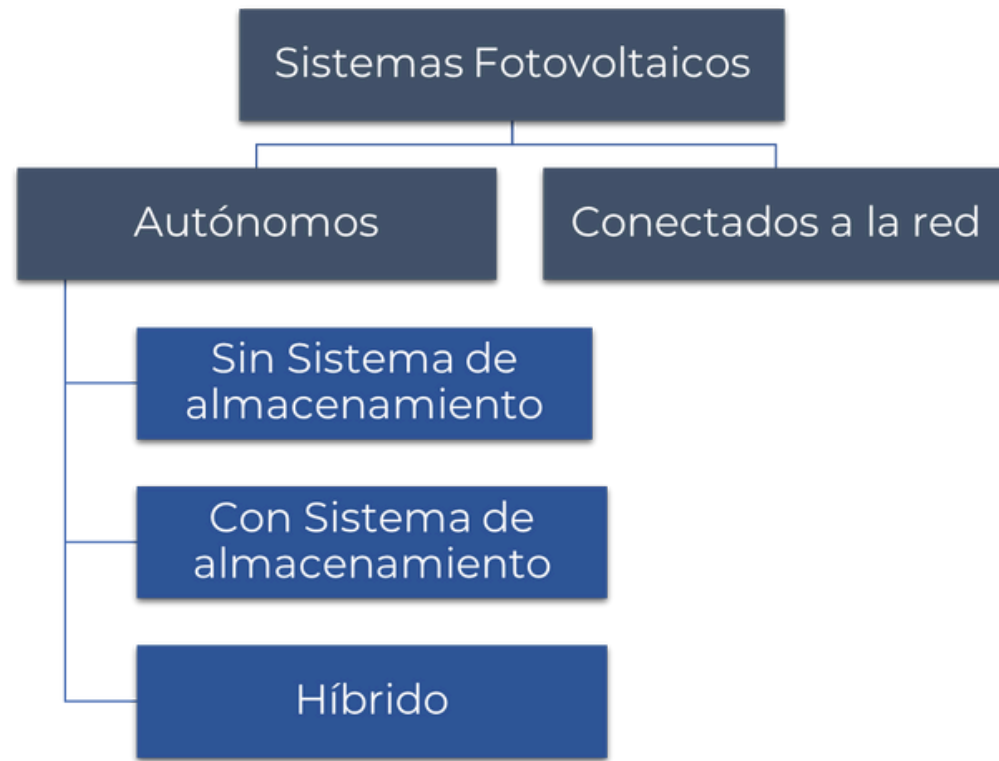
Tipos de sistemas PV por conexión



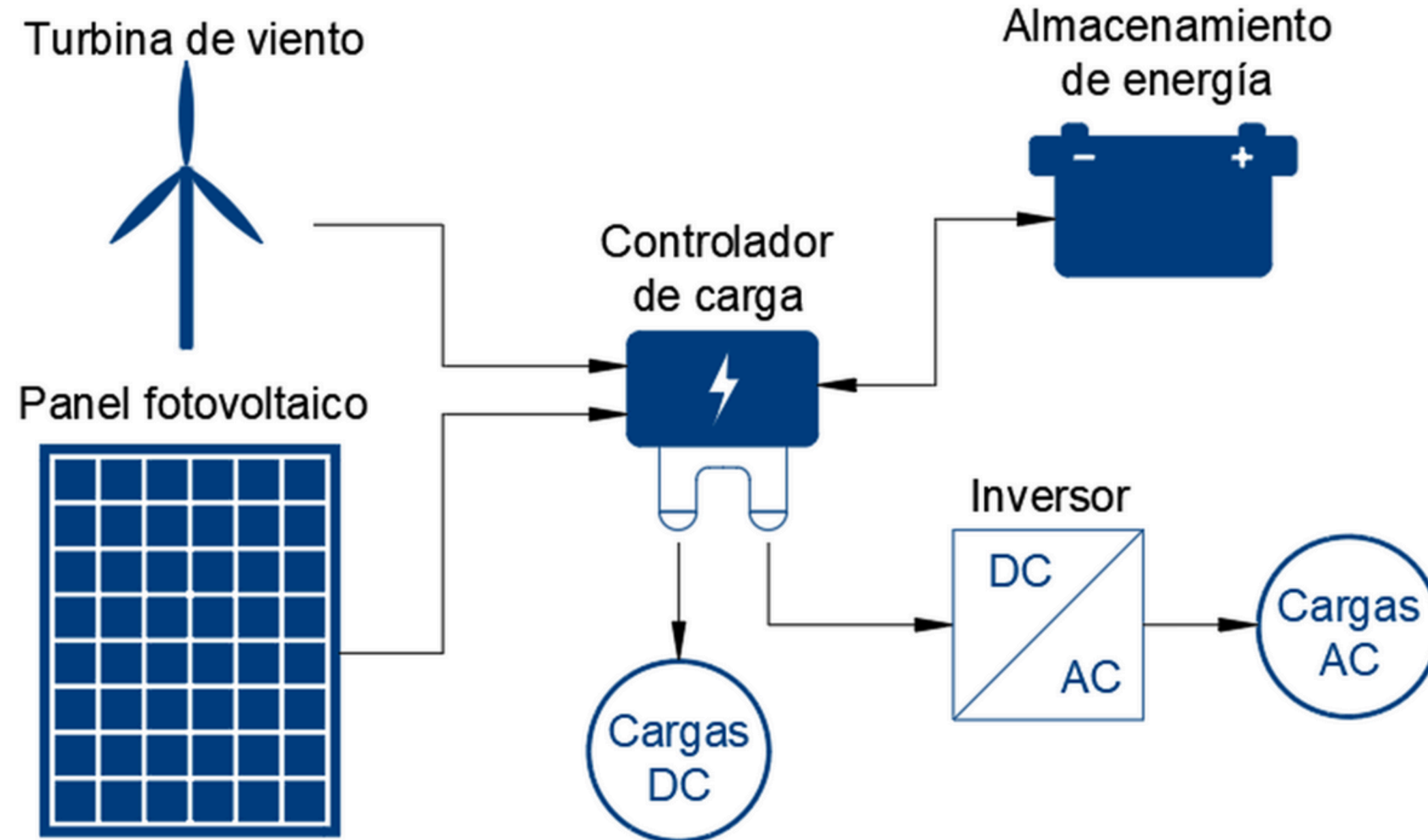
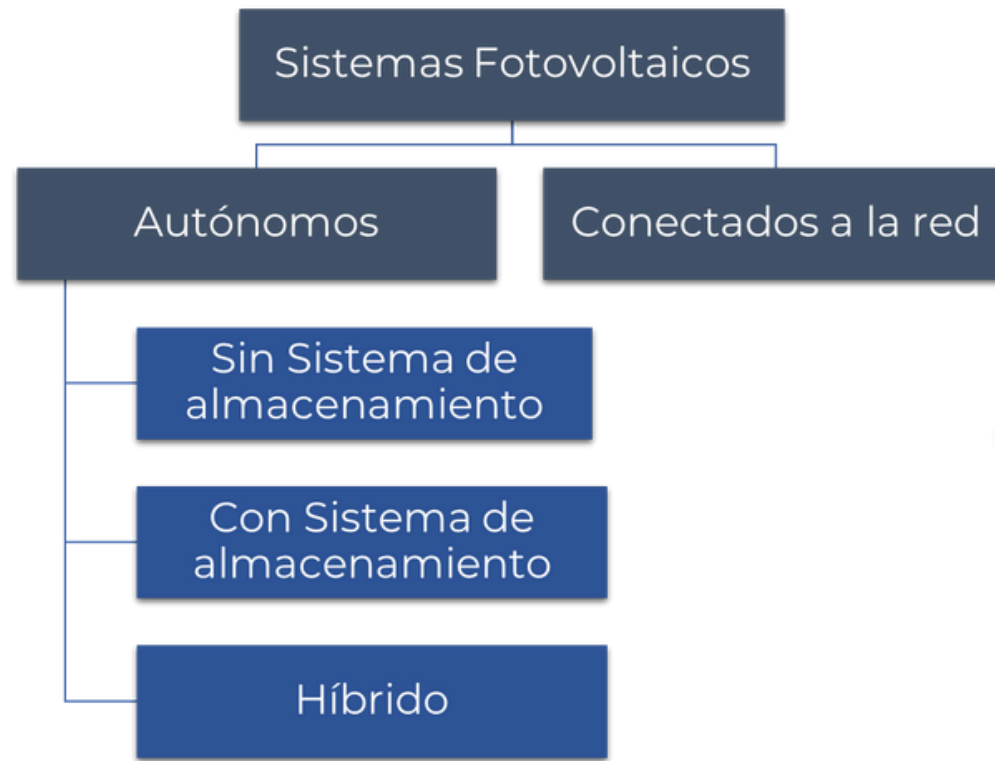
Tipos de sistemas PV por conexión



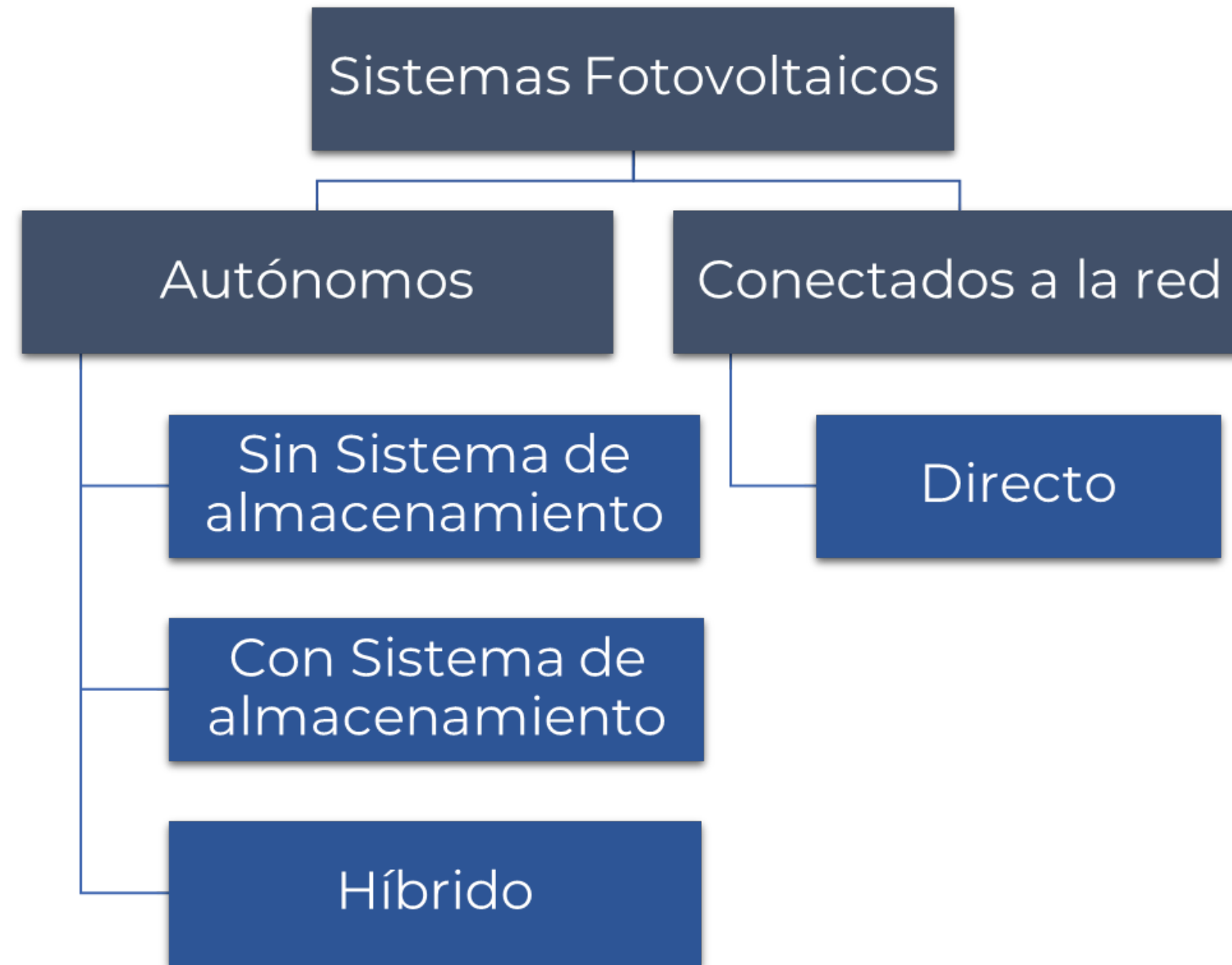
Tipos de sistemas PV por conexión



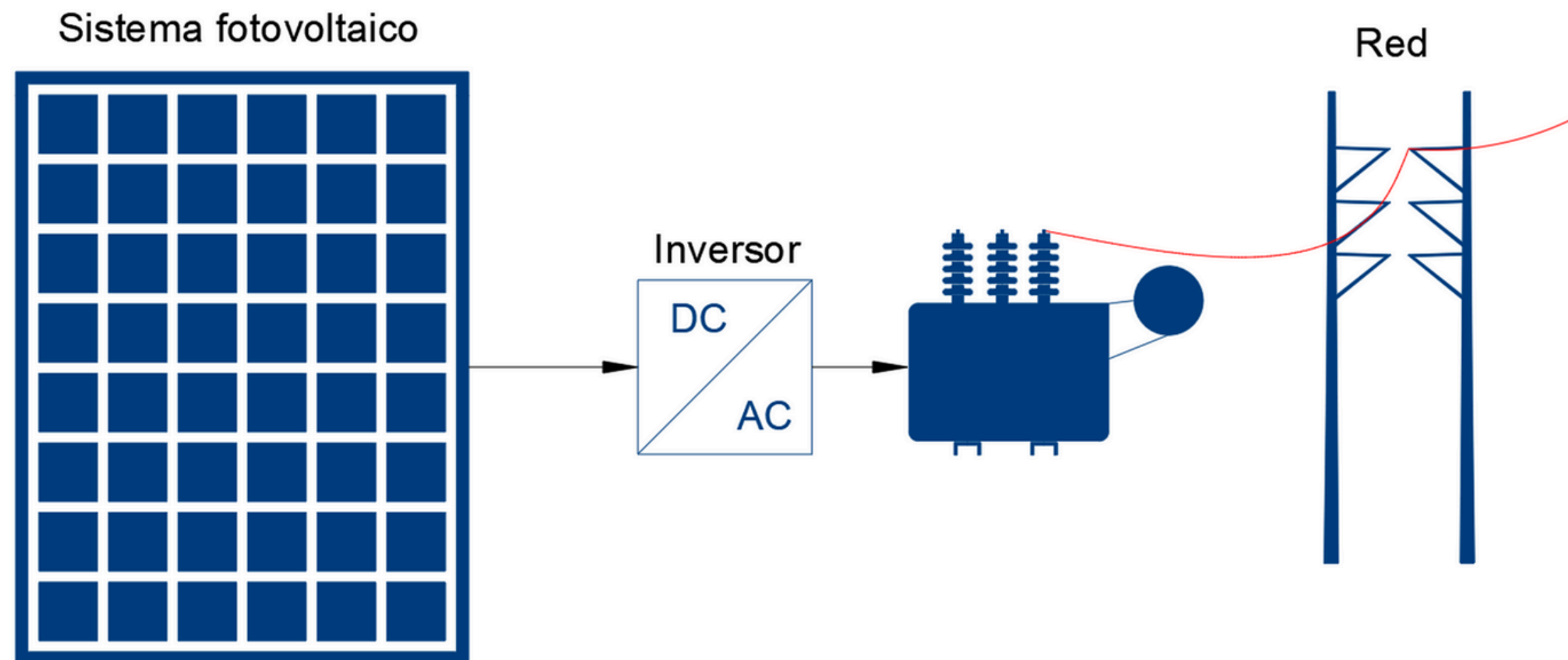
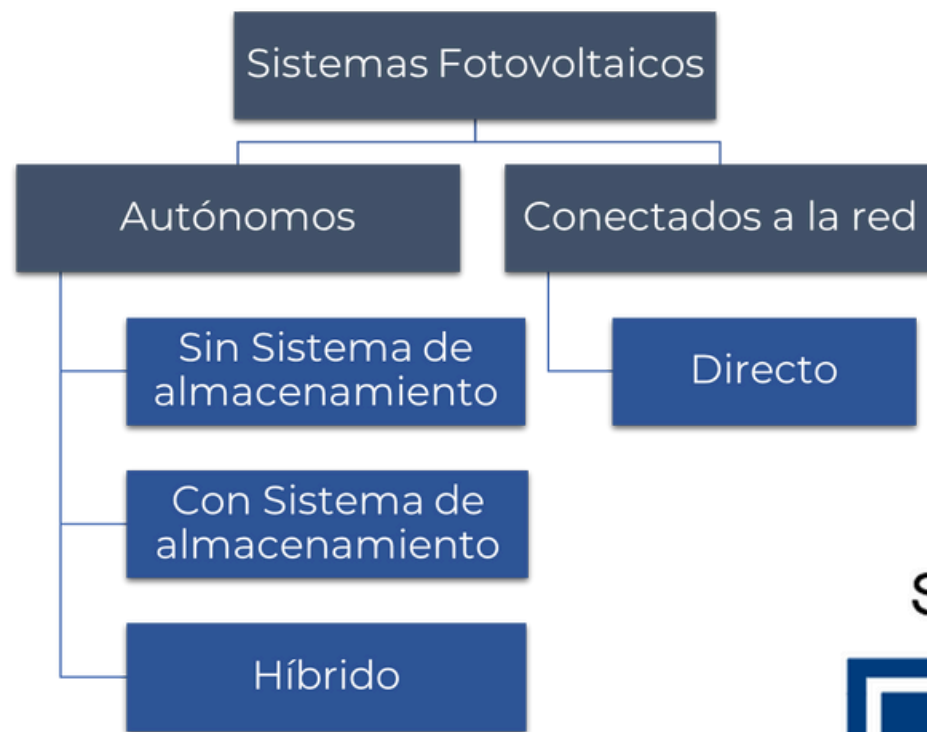
Tipos de sistemas PV por conexión



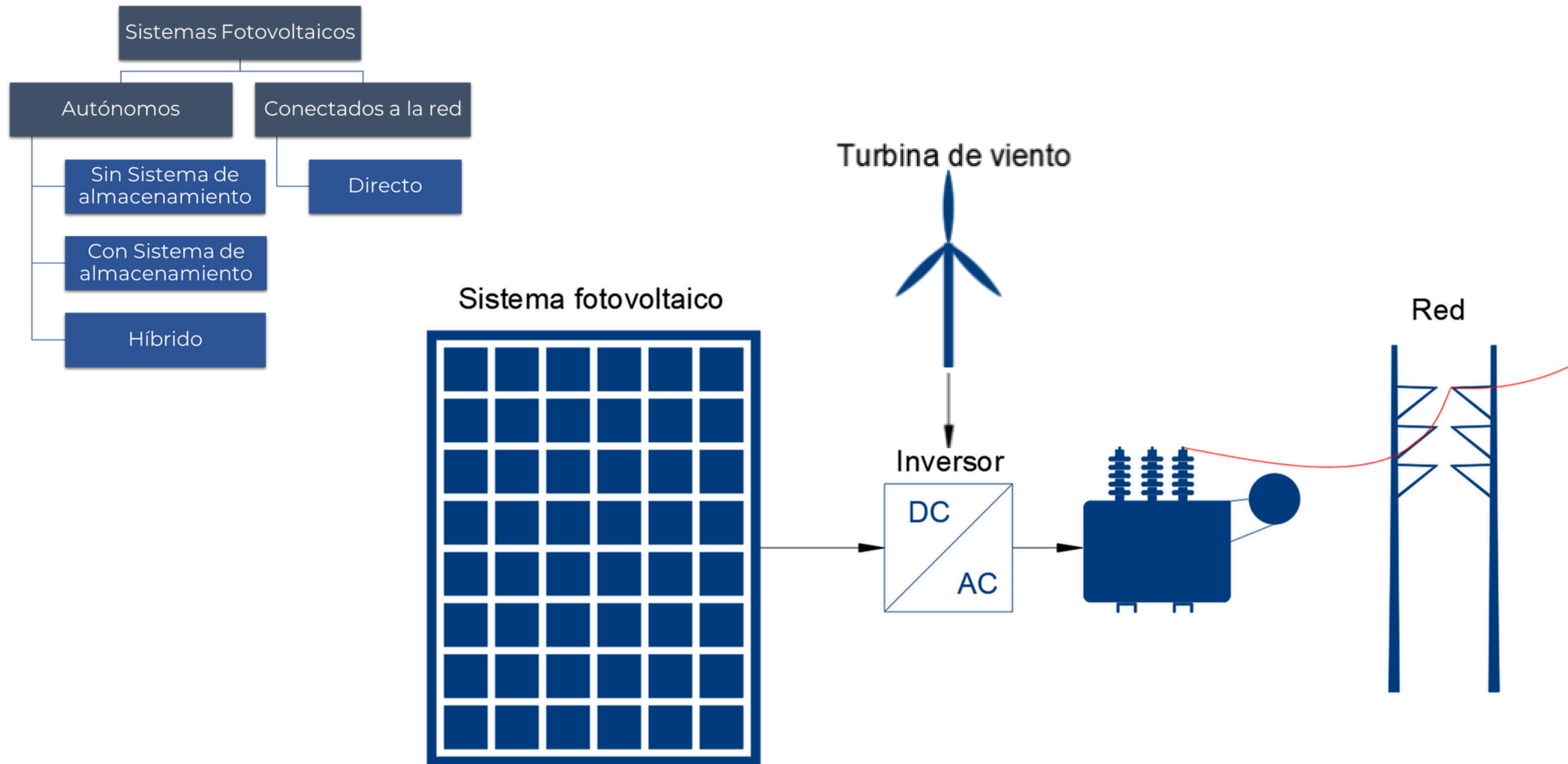
Tipos de sistemas PV por conexión



Tipos de sistemas PV por conexión



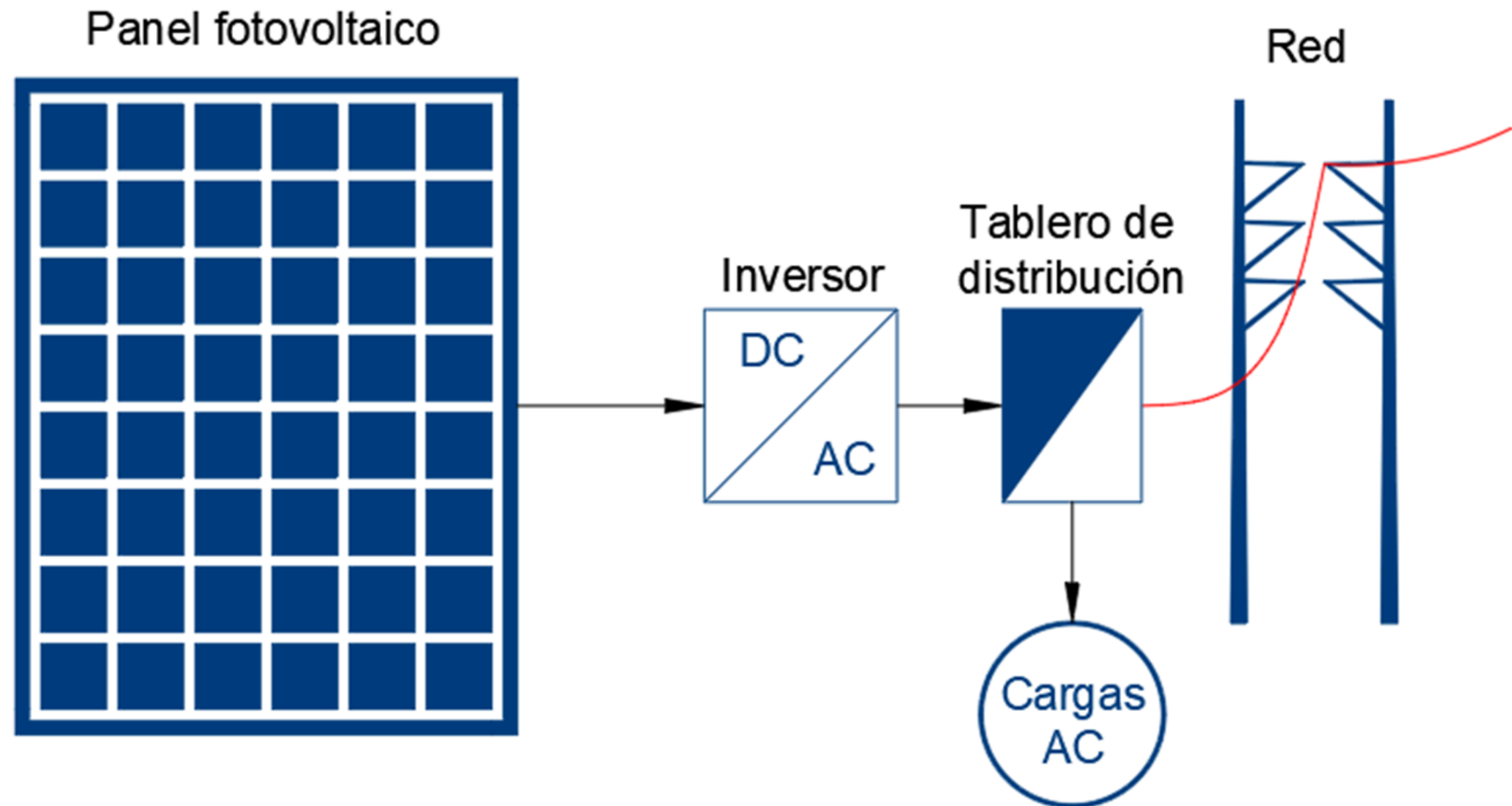
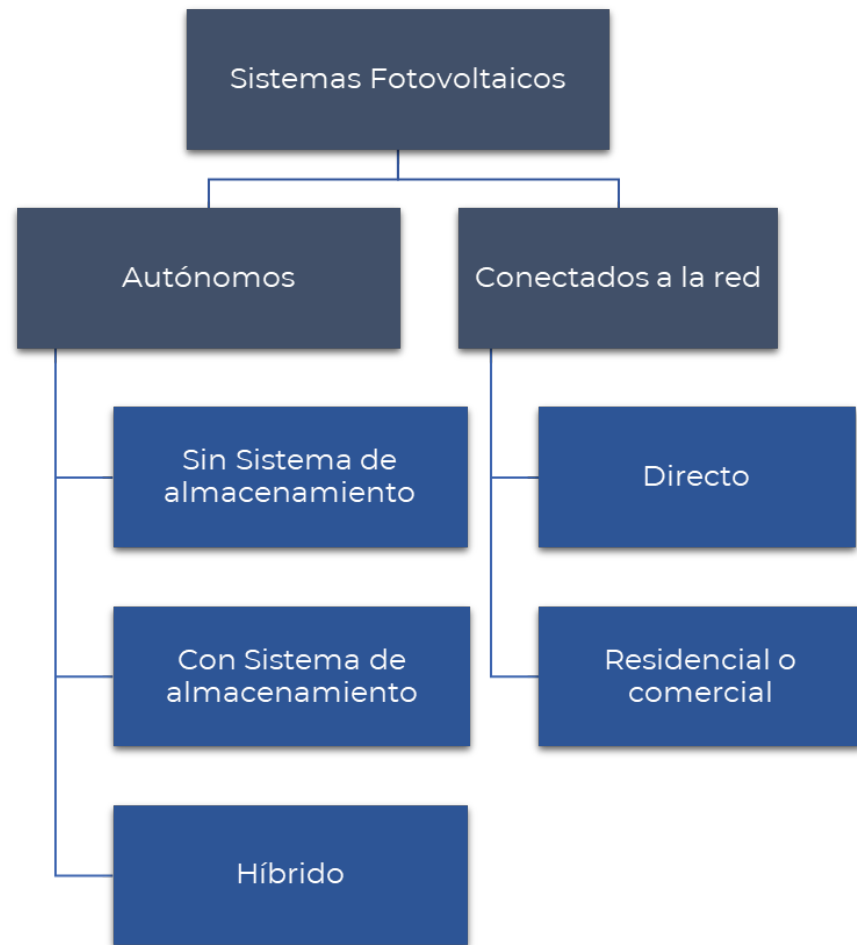
Tipos de sistemas PV por conexión



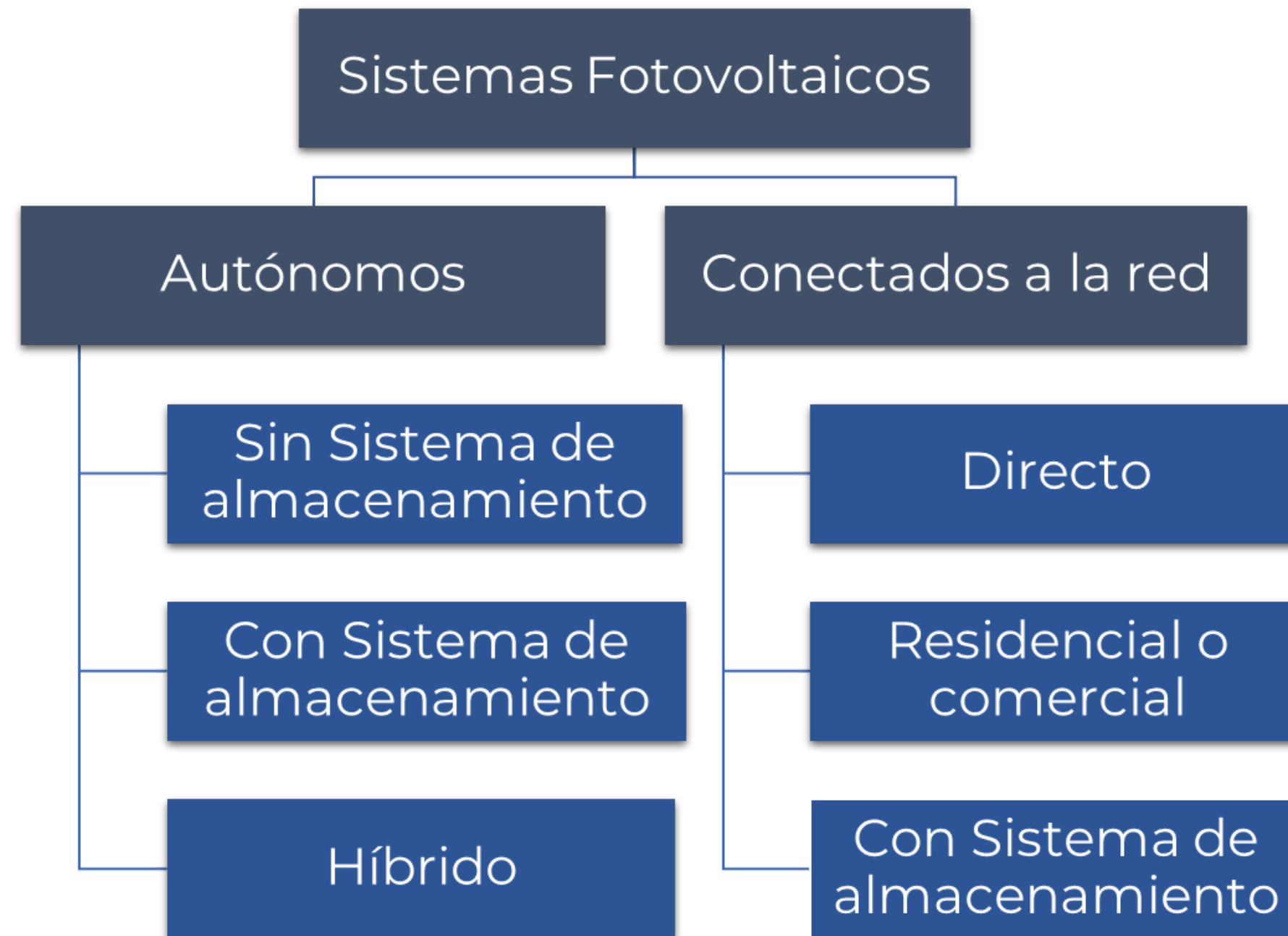
Tipos de sistemas PV por conexión



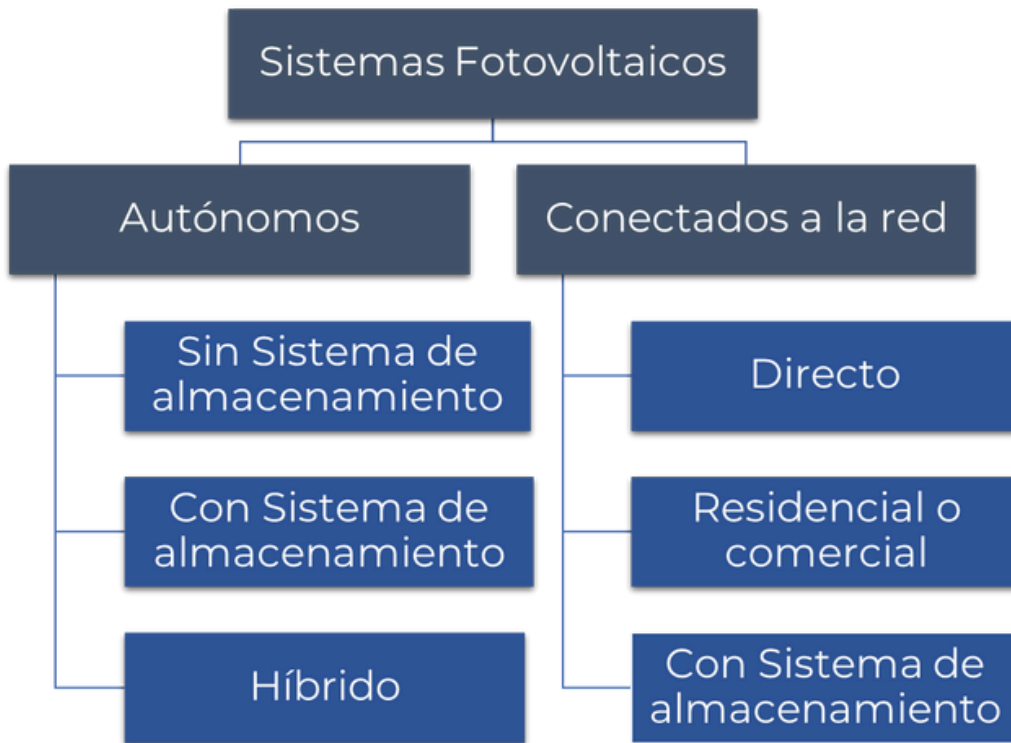
Tipos de sistemas PV por conexión



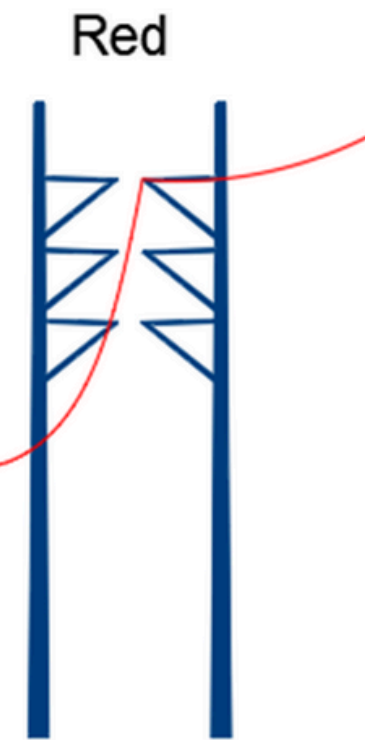
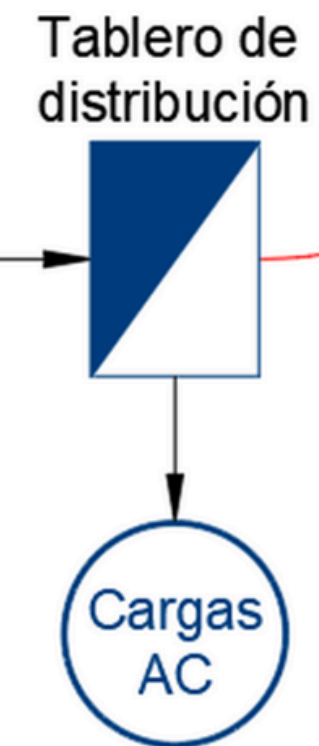
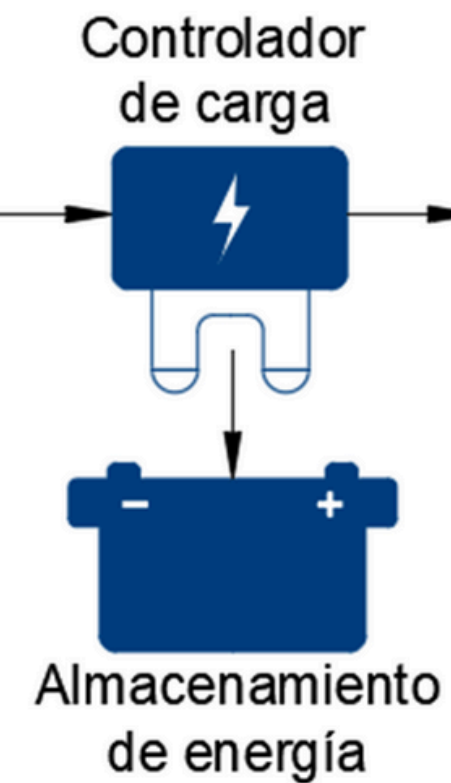
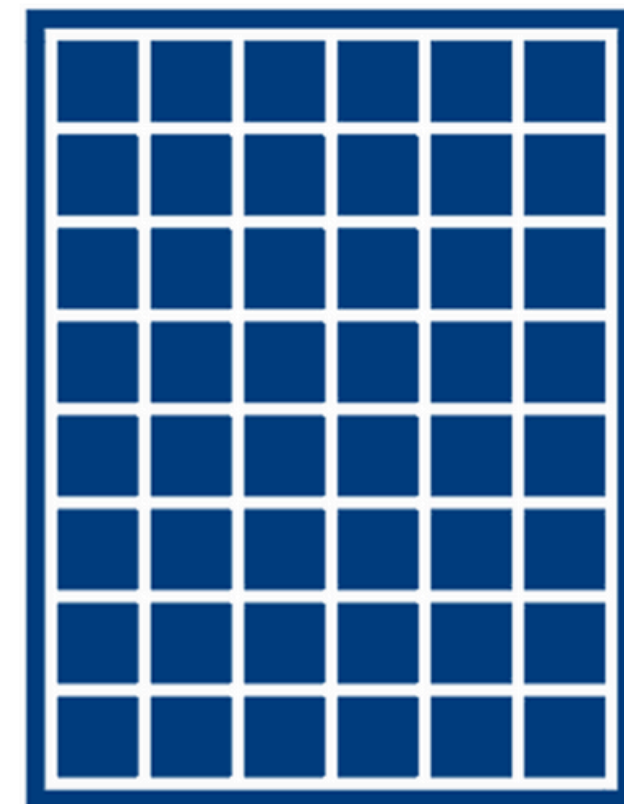
Tipos de sistemas PV por conexión



Tipos de sistemas PV por conexión

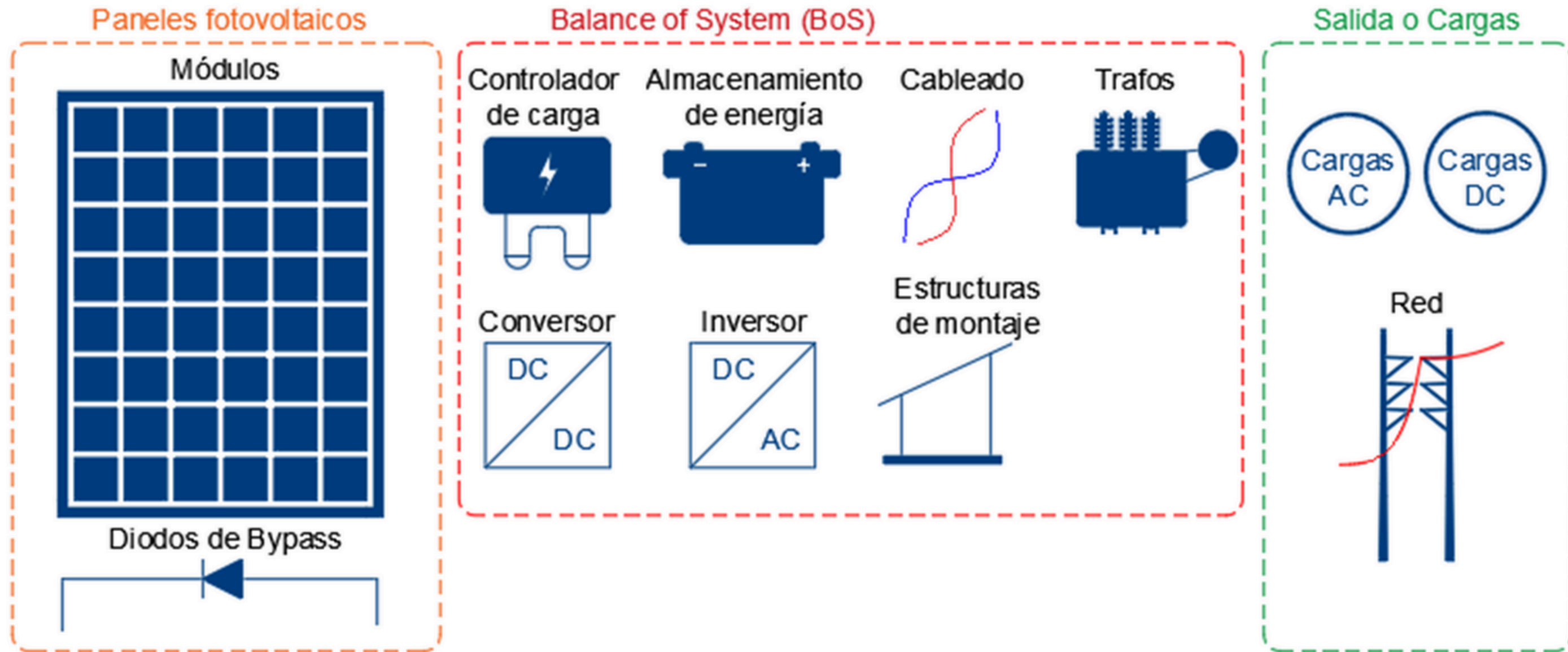


Panel fotovoltaico





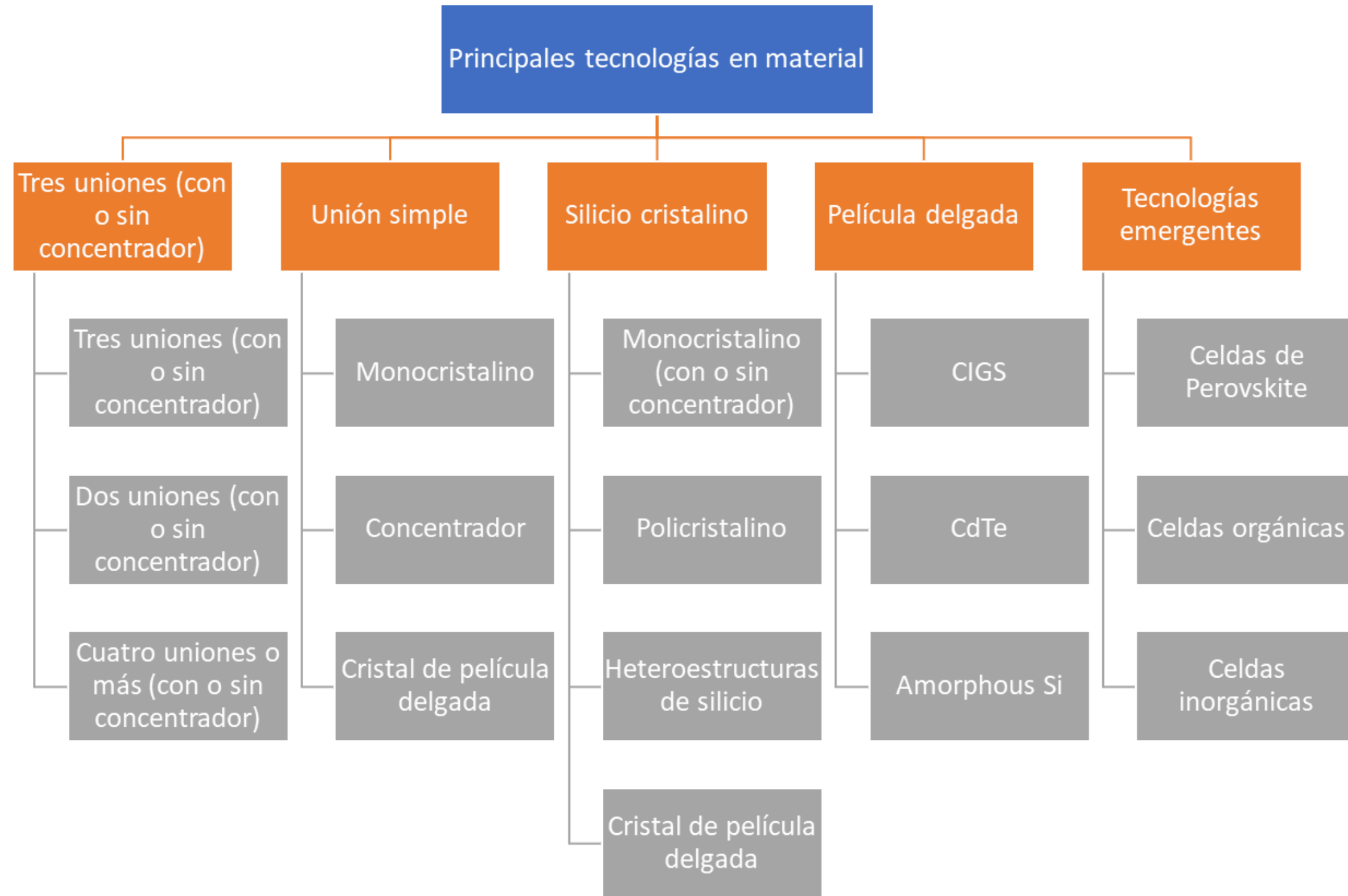
Componentes de los sistemas fotovoltaicos



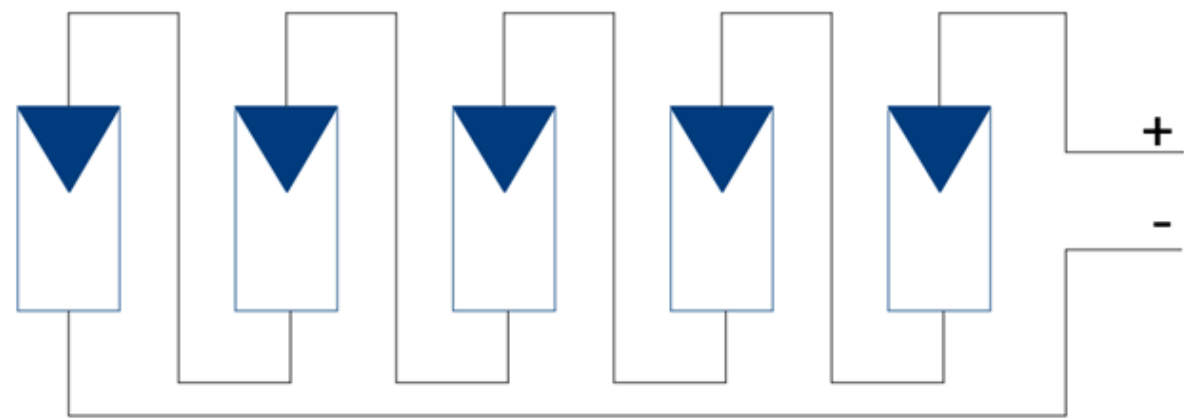
Componentes principales de un sistema PV

Paneles fotovoltaicos

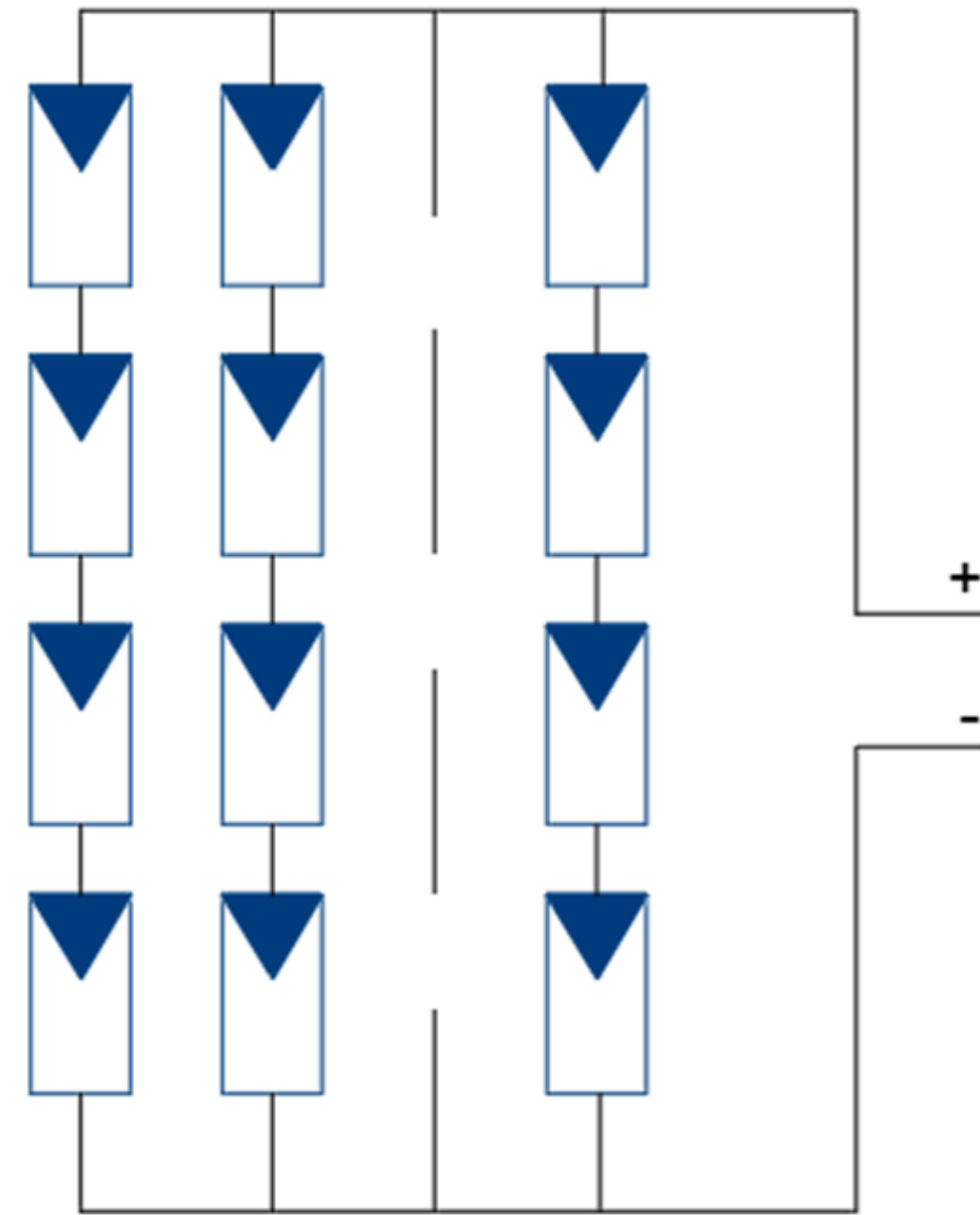




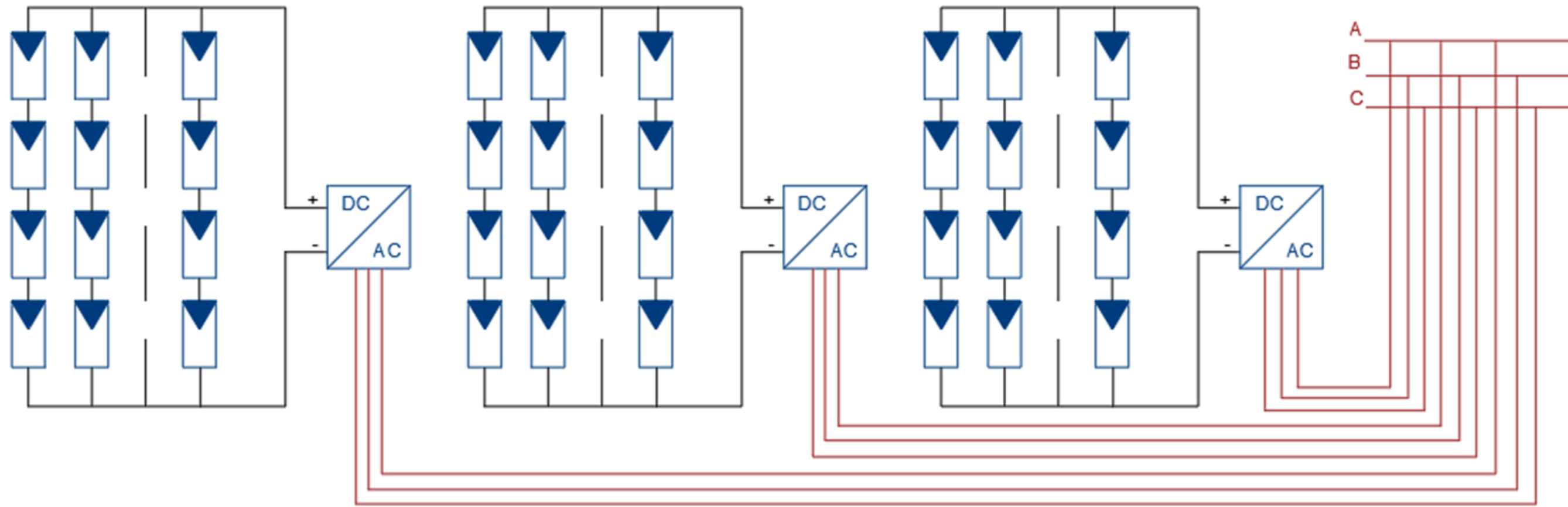
Principales tecnologías



Cadena (String)

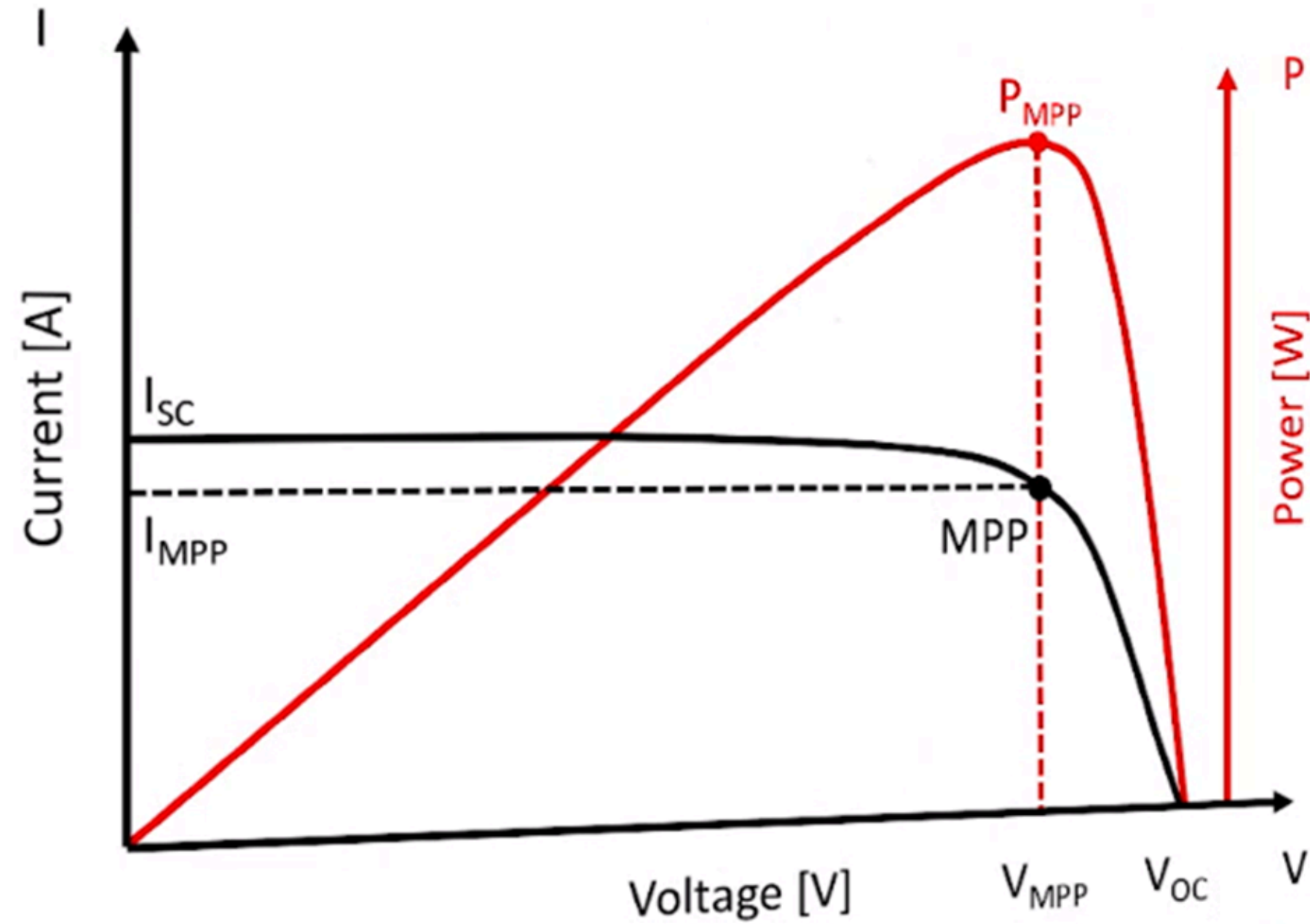


Subarreglo (Subarray)

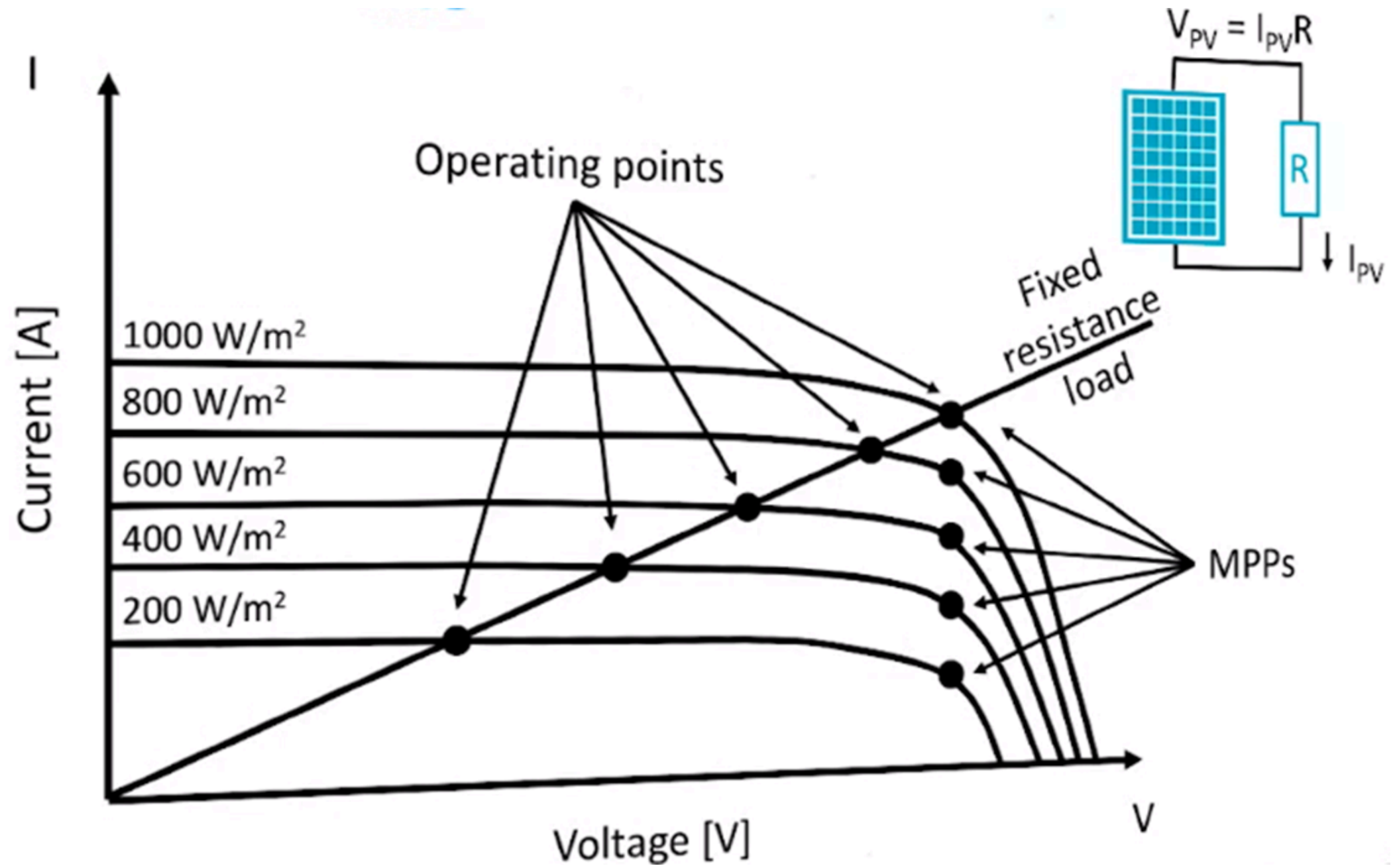


Arreglo (Array)

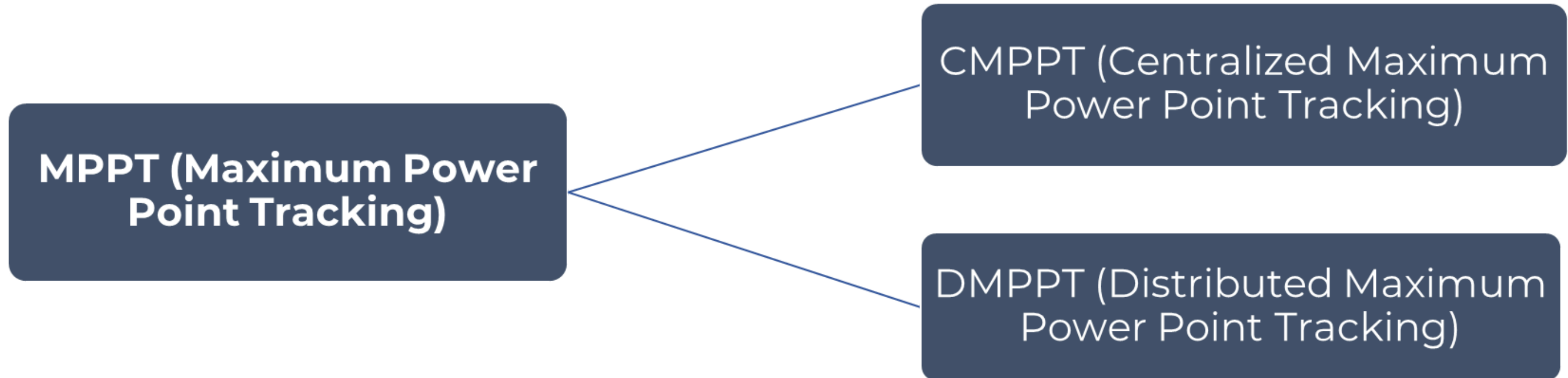
Topologías comunes



MPPT (Maximum Power Point Tracker)



MPPT (Maximum Power Point Tracker)





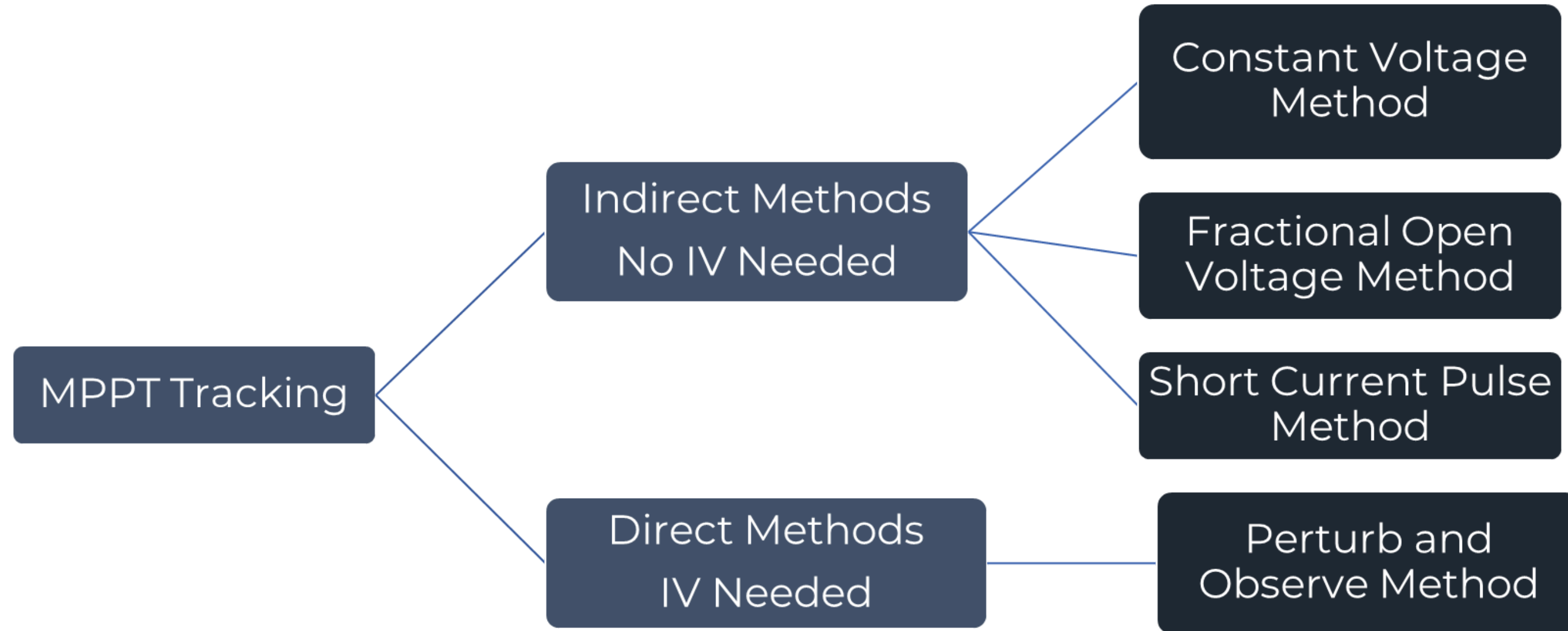
Fuente: Dsolar

DMPPT (Solar Trackers)

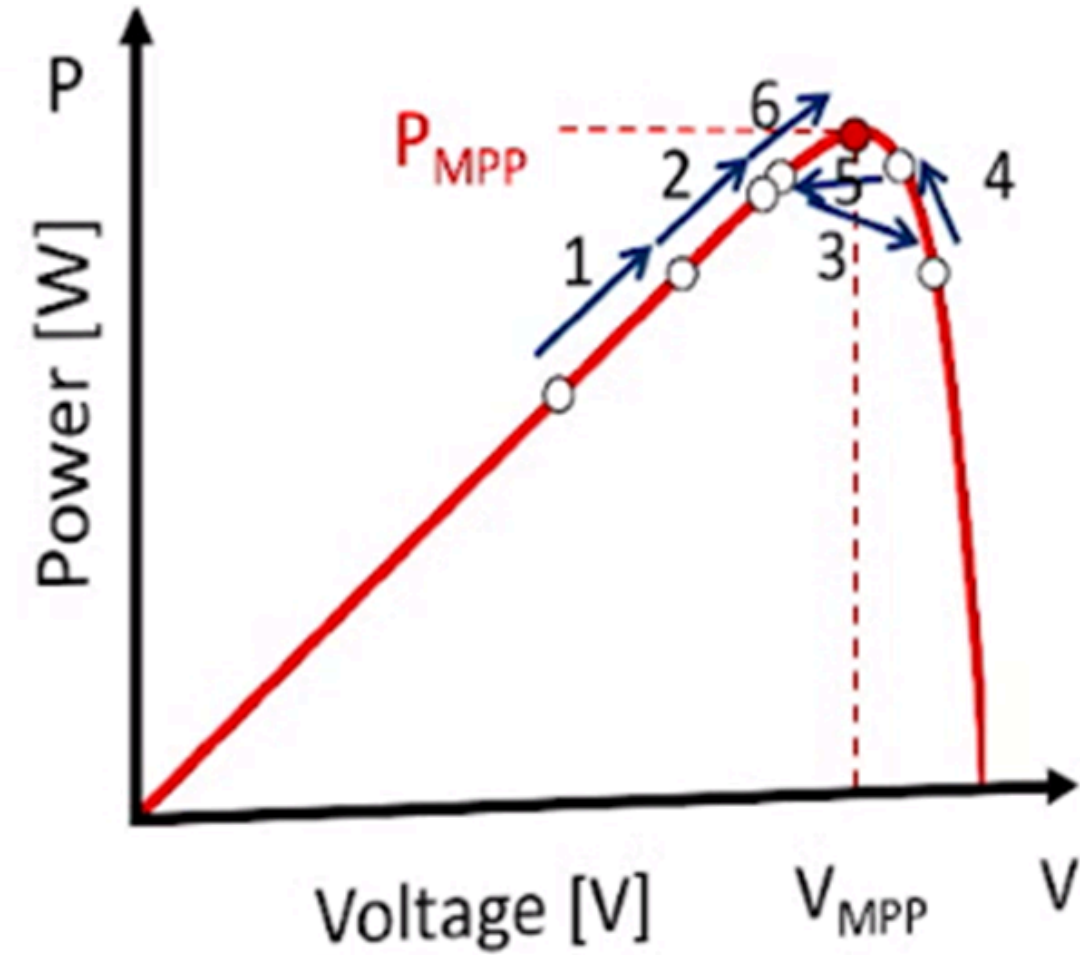


Fuente: Britannica

DMPPT (Solar Trackers)



Prior Perturbation	Change in Power	Next Perturbation
Positive	Positive	Positive
Positive	Negative	Negative
Negative	Positive	Negative
Negative	Negative	Positive



Fuente: edX

Perturb and Observe Method

Se está **implementando** un **controlador** que utiliza **MPPT** con algoritmo **Perturb and Observe**. El MPPT tiene dos modos diferentes de operación: alto y fino.

- Un **ajuste alto** corresponde a un cambio de tensión de $\pm 5V$.
- Un **ajuste fino** corresponde a un cambio de tensión de $\pm 1V$.

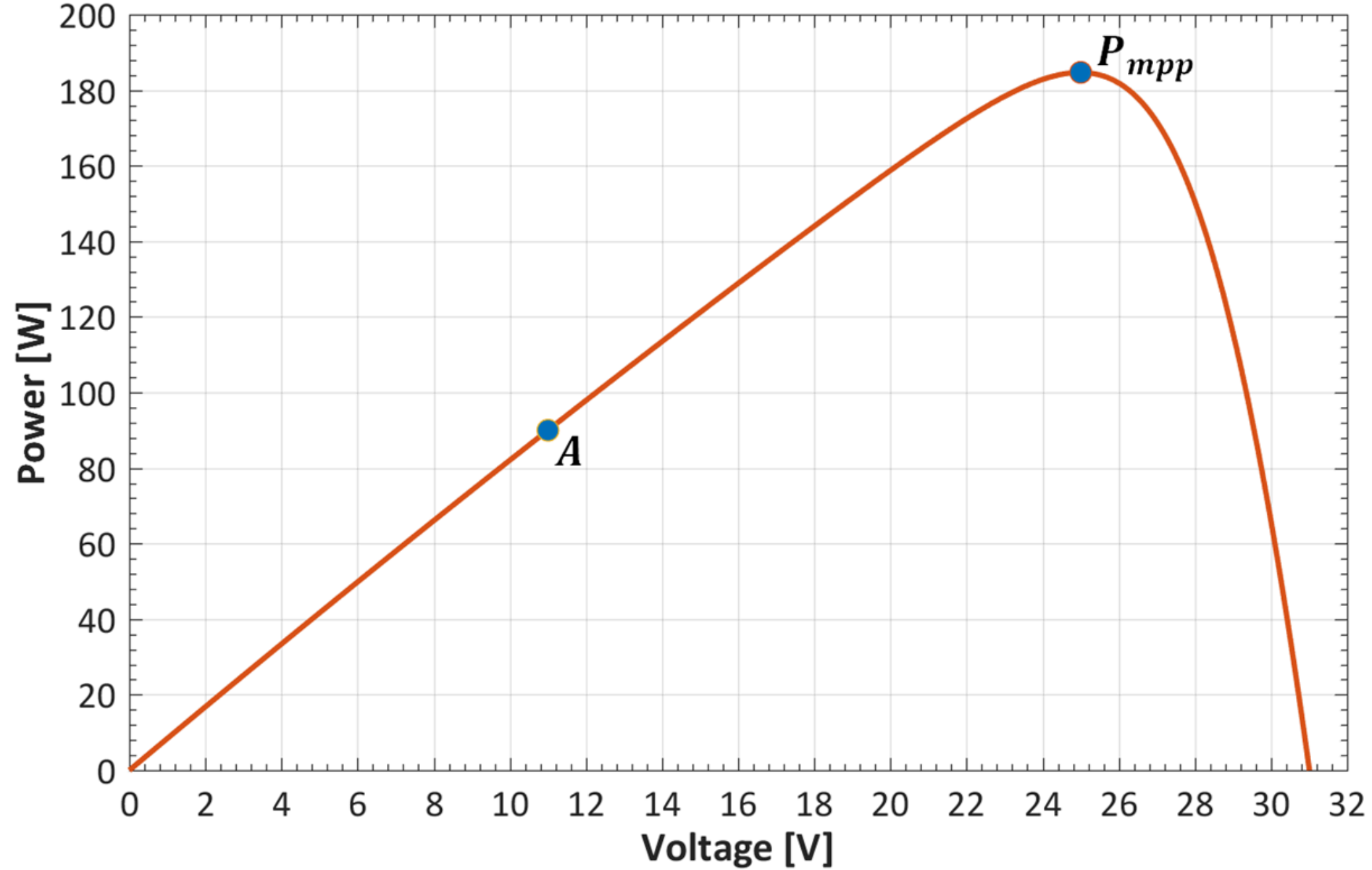
Si el MPPT ha dado un paso tal que un cambio en la tensión ha llevado a un **aumento en la potencia**, entonces el siguiente paso es un **ajuste alto** en la **misma dirección** que el paso anterior.

Por otro lado, si el MPPT ha dado un paso tal que un cambio en la tensión ha llevado a una **disminución en la potencia**, entonces el siguiente paso es un **ajuste fino** en la **dirección opuesta** al paso anterior.

Considerar que el módulo está operando actualmente en el **punto A**, a una tensión de **11 V** y que el MPPT está a punto de dar un **ajuste alto aumentando la tensión**. Considerar que la curva IV mostrada **no cambia en el tiempo**.

¿Cuántos pasos dará el MPPT antes de alcanzar el **MPP a 25 V**?

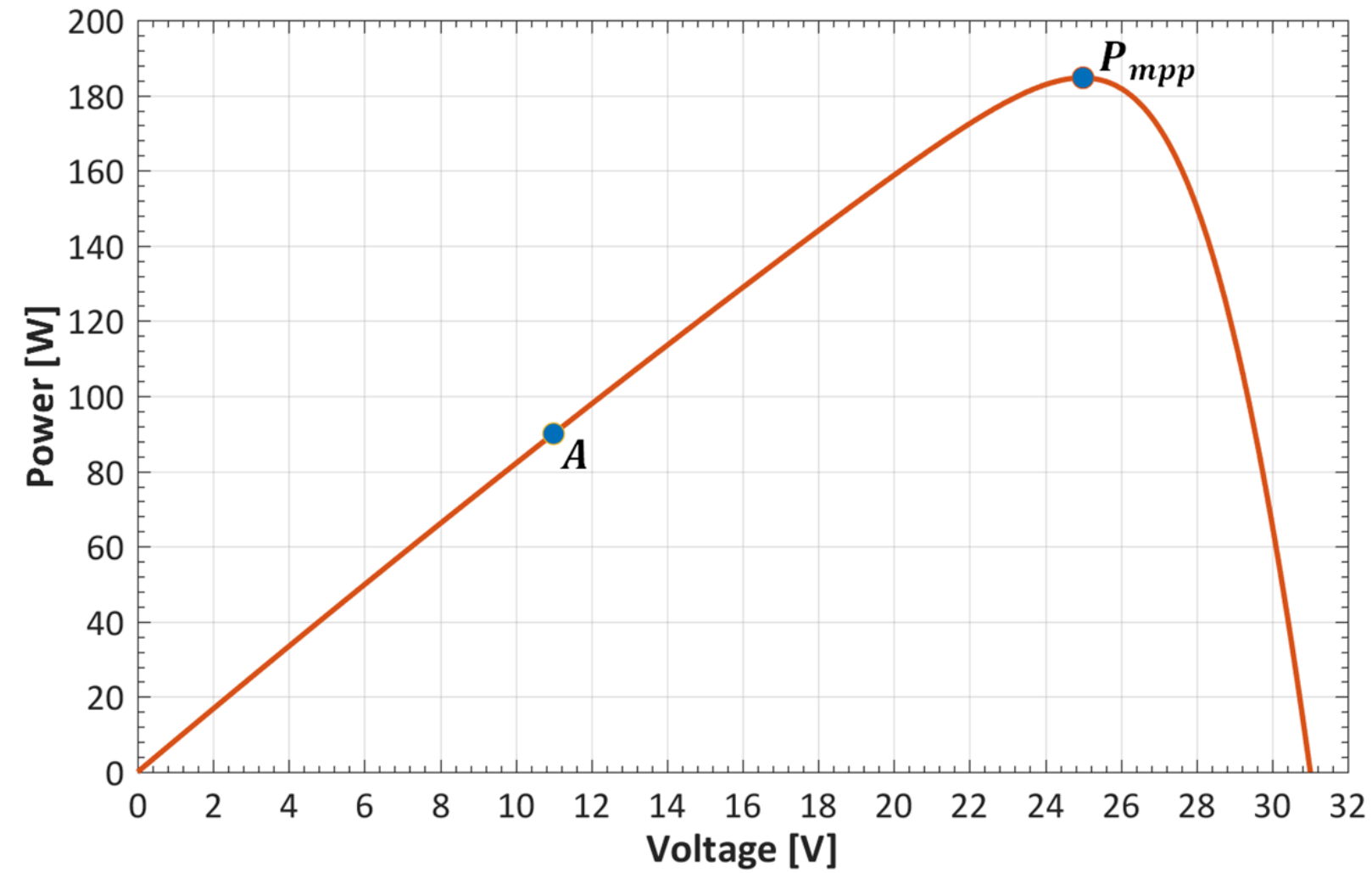
Perturb and Observe Method



- Un ajuste alto corresponde a un cambio de tensión de $\pm 5V$.
- Un ajuste fino corresponde a un cambio de tensión de $\pm 1V$.

¿Cuántos pasos dará el MPPT antes de alcanzar el MPP a 25 V?

Perturb and Observe Method



Paso	Vin		Vf		Cambio en potencia	Potencia		Prox. Perturbación
1	11 V	→	16 V	→	Positivo	110 W	→	+5 V
2	16 V	→	21 V	→	Positivo	170 W	→	+5 V
3	21 V	→	26 V	→	Positivo	180 W	→	+5 V
4	26 V	→	31 V	→	Negativo	0W	→	-1 V
5	31 V	→	30 V	→	Positivo	60W	→	-5 V
6	30 V	→	25 V	→	Positivo	184 W (P_{mpp})	→	OK

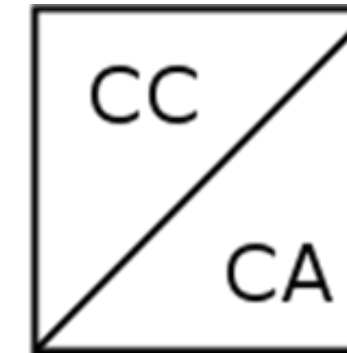
Perturb and Observe Method

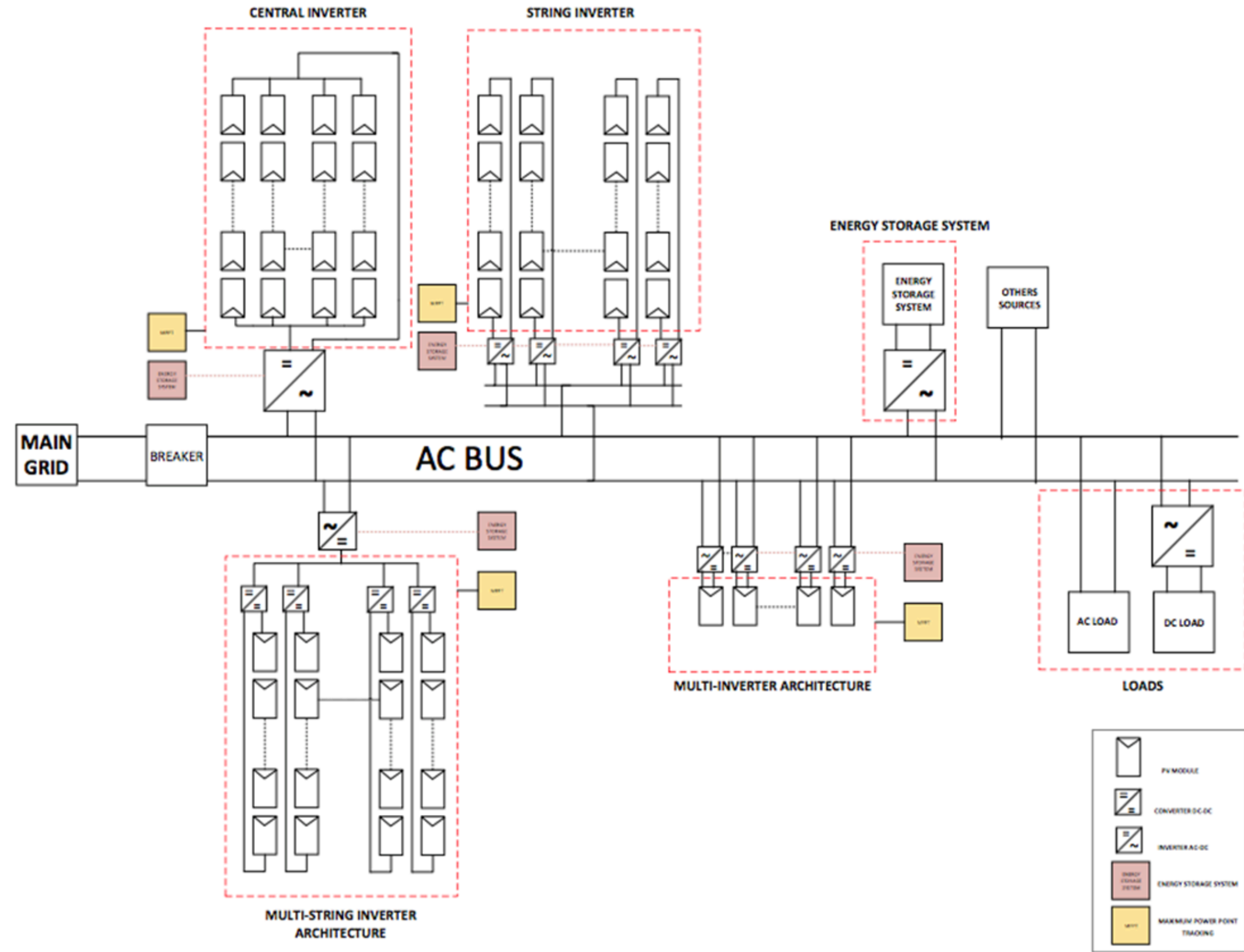
Inversores



Características

- Transformar energía DC en AC
- Inv. de corriente o de tensión
- Seguimiento MPPT
- UPS (recrear forma de onda)
- **Detección de islanding**





Arquitecturas de sistemas PV (on-grid)

Tipo	Ventajas	Desventajas
Inversor centralizado		
Micro - inversor		
Inversor de string		

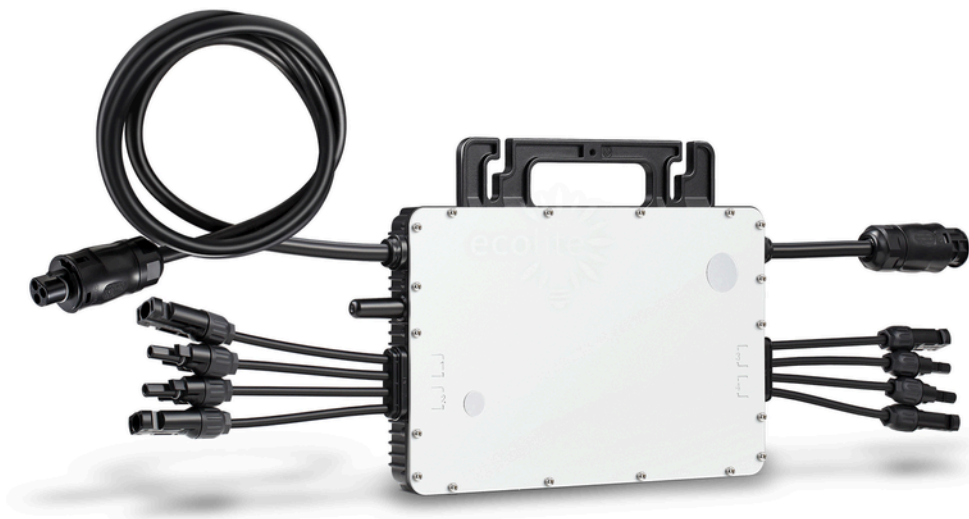
Tipos de inversores

Tipo	Ventajas	Desventajas
Inversor centralizado	<ul style="list-style-type: none"> • Menor costo • Monitorización simple • Mantenimiento fácil y rápido 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 MPPT por todo el campo • Mayores pérdidas de conversión • Riesgos eléctricos • Poca posibilidad de expansión



Tipos de inversores (Centralizado)

Tipo	Ventajas	Desventajas
<p>Micro - inversor</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión a nivel de 1 panel • Aumento en la disponibilidad del sistema • Monitoreo mas detallado • Bajo costo para sistemas de baja potencia on-grid 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor complejidad de instalación • Aumento en el costo de mantenimiento



Tipos de inversores (Micro - inversor)

Tipo	Ventajas	Desventajas
Inversor de string	<ul style="list-style-type: none"> • MMPT para cada string • Mejor eficiencia en cond. de sombra • Fallas locales • Escalable • Alta confiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo • Perdidas por conexion en serie de los paneles de un mismo string • En cond. de baja potencia de los paneles: baja eficiencia.



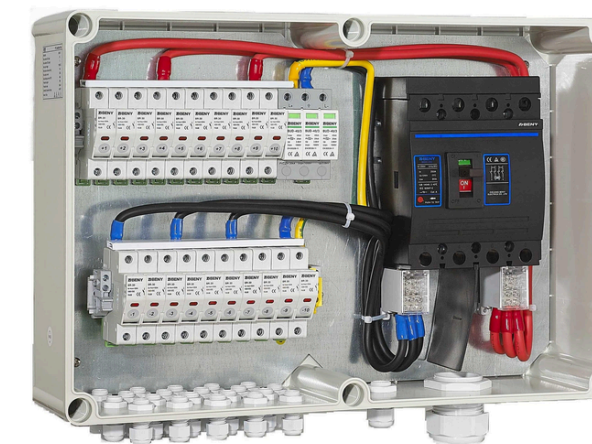
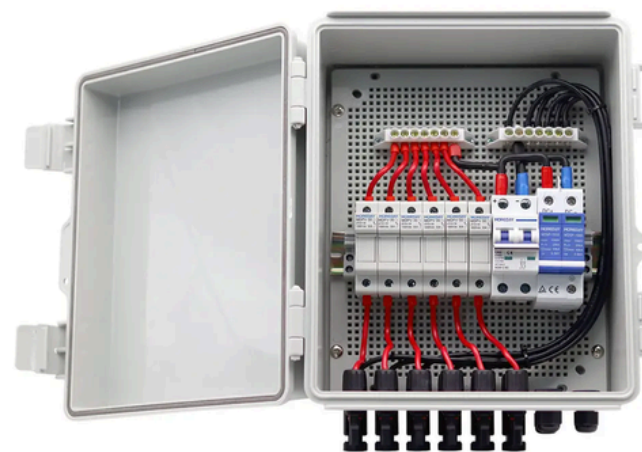
Tipos de inversores (String)

INVERSOR DE CADENA	FIMER PVS-175-TL	HUAWEI SUN2000-175KTL-H0	SUNGROW SG125HX	SOLIS S5-GC125K	Unidades
Entrada					
Tensión de entrada de CC máx	1500	1500	1500	1100 Vdc	
Tensión de entrada de CC en PES	750 (650..1000)	1080 (500..1500)	1160 (500-1500)	720 (195-1100) Vdc	
Tensión operativa de entrada CC	600..1500	500..1500	500..1500	195..1100 Vdc	
Potencia nominal de entrada CC	188000W@30°C - 177000W @ 40°C				
Número de MPPTs	12	9	6	10	
Intervalo de tensión de entrada de CC con MPPT	850..1350	880..1300	500-1500	180-1000 Vdc	
Salida					
Potencia nominal de AC	175 000 W a 40 °C 185 000 W a ≤ 30 °C	175 000 W a XX °C 193 000 W a ≤ XX °C	125 000VA @ 40 °C 113 600VA @ 50 °C	125 000 W a XX °C 137 500 W a ≤ XX °C	
Intervalo de tensiones en AC	552..960		680..880	480 Vac	
FP	> 0,995, 0..1 ind/cap con Smax	0,8 cap; 0,8 ind	> 0,99 / 0,8 cap; 0,8 ind	> 0,99 / 0,8 cap; 0,8 ind	
THD	< 3%	<3 %	<3 %	<3 %	
Eficiencia máx	98,70%	≥99,0 %	99,0 %	99,0 %	
Comunicación					
Interfaces de comunicación	2xEthernet, wifi, RS-485	wifi, RS-485, MBUS, USB (smartlogger Ethernet)	RS485 / PLC (sungrow logger Ethernet)	RS485, Optional: Wi-Fi, GPRS, PLC	
Protocolo de comunicación	Modbus RTU/TCP	smartlogger Modbus TCP	sungrow logger Modbus TCP	Modbus RTU	
Condiciones físicas					
Temperatura de funcionamiento	-25..+60 °C con derrateo por encima de 40 °C	-25 °C a +60 °C	-30 to 60 °C	-30 to 60 °C °C	
Humedad relativa	4 %..100 % de condensación	0 % al 100 %	0 – 100 %	0 – 100 %	
Altitud máxima de funcionamiento	2000 m / 6560 pies	5000 m	5000 m	4000 m m	
Protección ambiental	IP65 (IP54 en ventiladores)	IP66	IP66	IP66	
Refrigeración	Aire forzado	circulación de aire	ventilación forzada	ventilación forzada redundante	
Tamaño	867x1086x458 mm	1035 × 700 × 365 mm	916x690x340 mm	1065x567x344.5 mm mm	
Sistema de montaje	Soporte de montaje	Soporte de montaje	Soporte de montaje	Soporte de montaje	

Algunas marcas de inversores de string

Cajas combinadoras

	Funciones	Ventajas
<p style="text-align: center;">Cajas combinadoras</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la disponibilidad y rendimiento • Recolectar y distribuir corrientes. • Proteger módulos contra daños por sobretensiones y rayos • Monitorear el rendimiento del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Posicionamiento óptimo para DPS. • Reducción en cableado • Medición a nivel de cadena (V, I, P) • Posibilita la mejora en operación y mantenimiento



Cajas combinadoras

Baterías

Necesidades

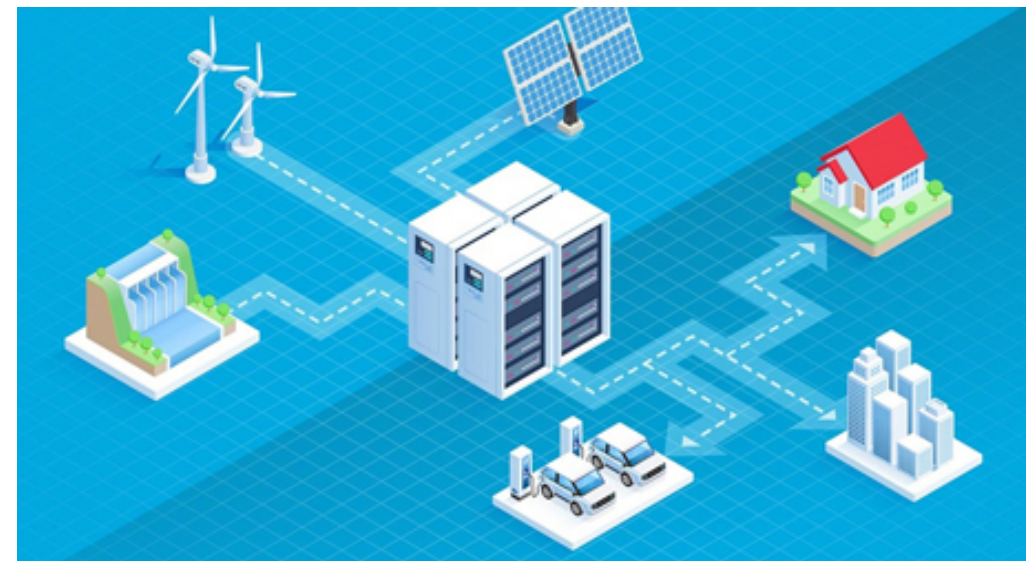
Autonomía

Necesidad de funcionamiento con su propia fuente de energía



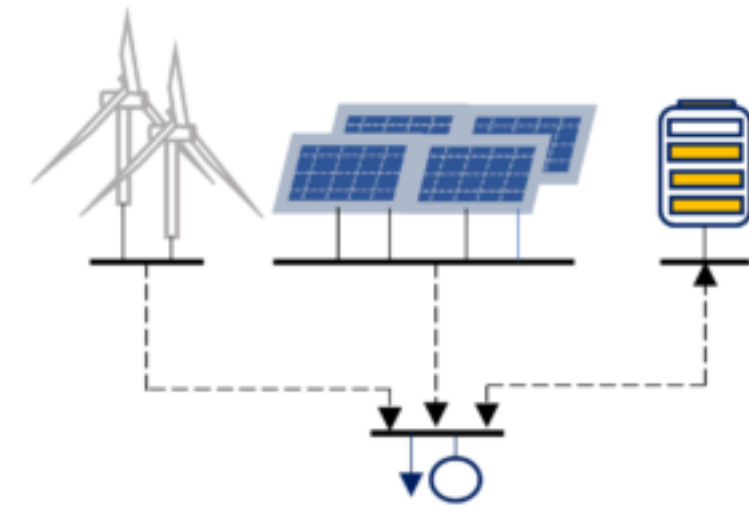
Temporalidad

Necesidad de compensar el desfase temporal entre la demanda en energía y la posibilidad de producción

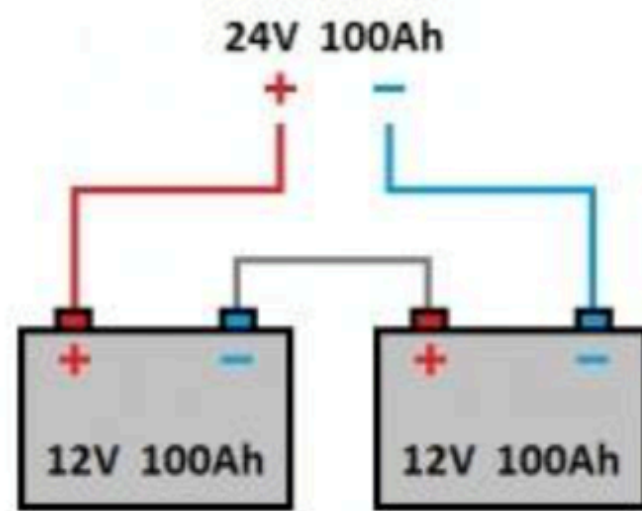


Compensación

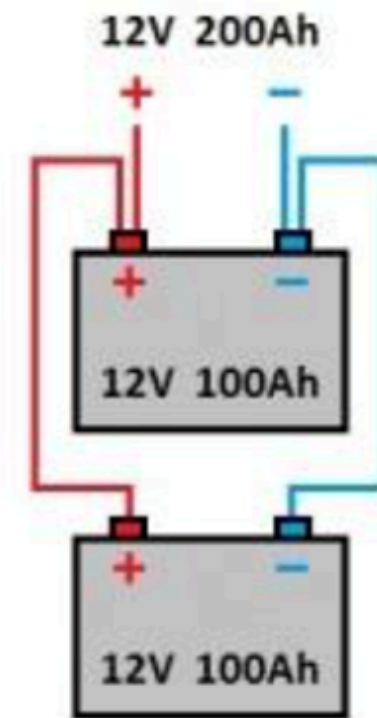
Necesidad de compensar las fluctuaciones de intensidad de la corriente y del voltaje de la red



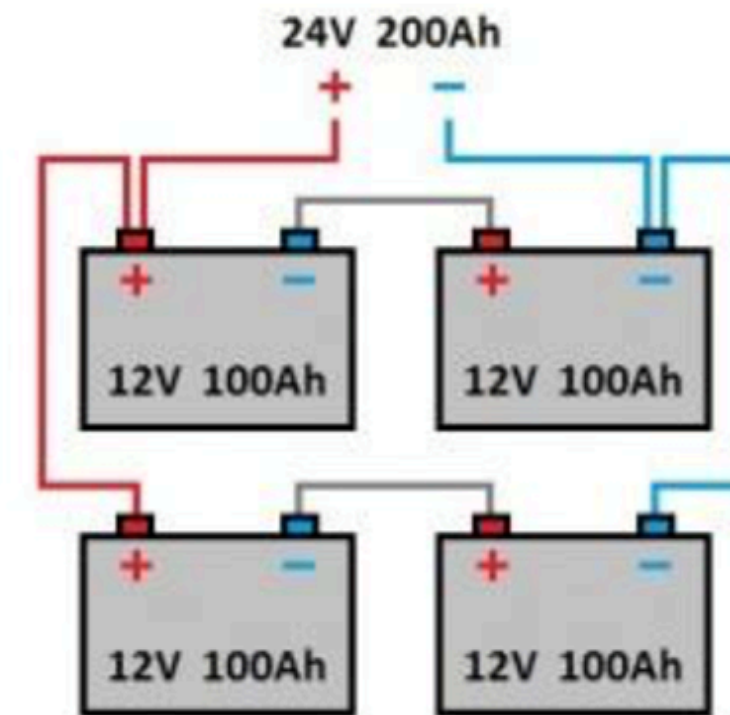
¿Por qué almacenar energía?



Conexión en serie :
los voltajes se suman



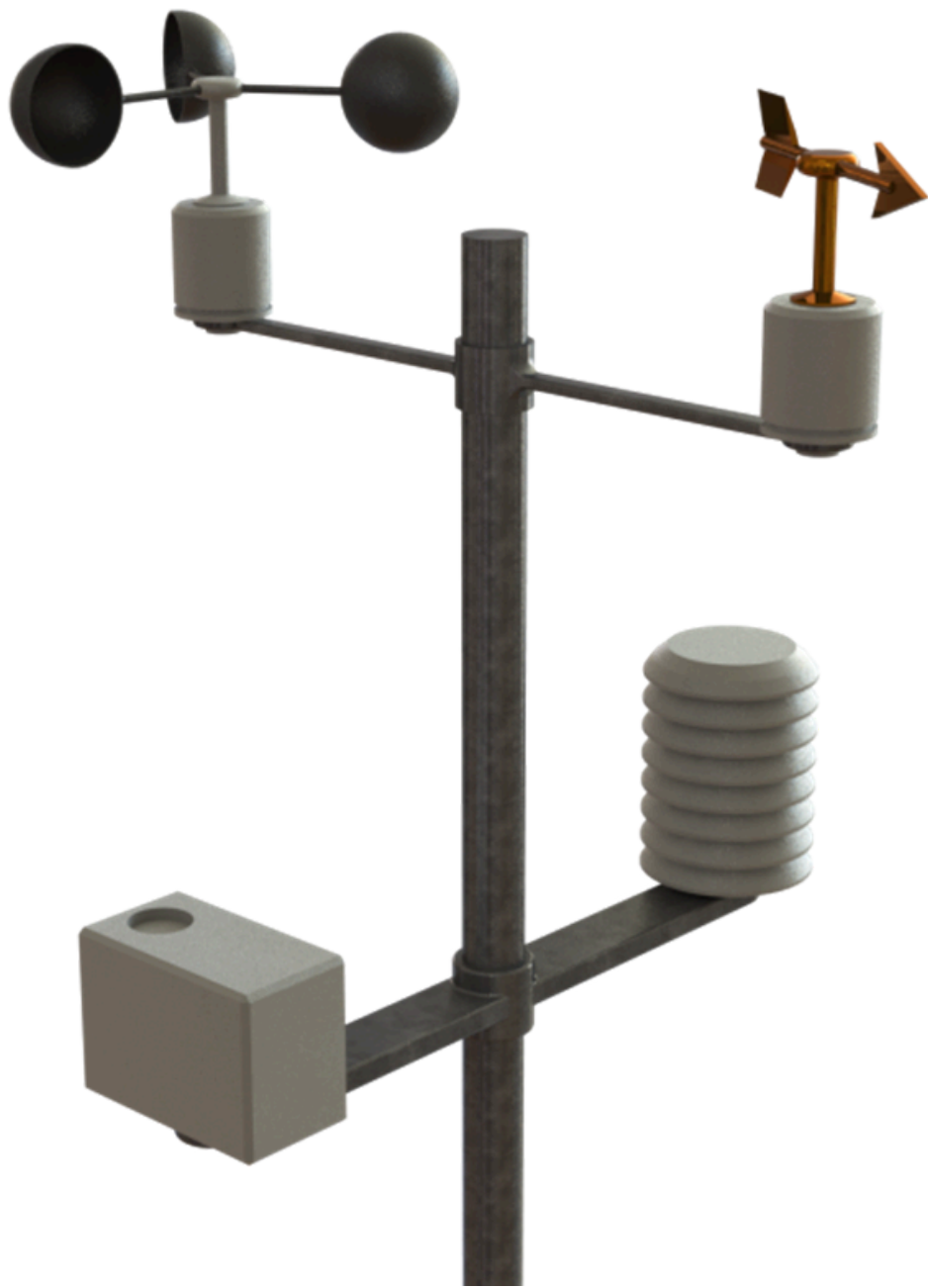
Conexión en paralelo :
las corrientes se suman



Asociación de baterías en serie/paralelo

Estación meteorológica

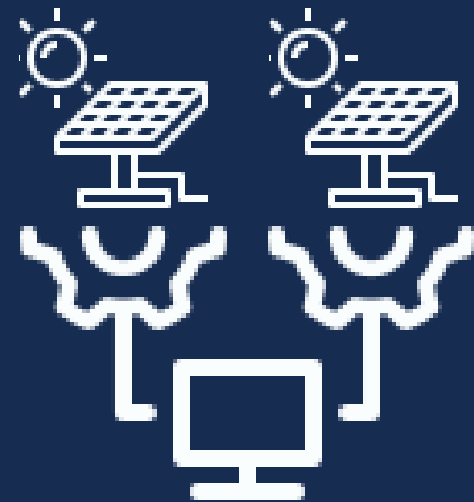
Necesaria para medir todas las condiciones meteorológicas del sitio donde se ubica la central fotovoltaica, aporta información muy valiosa y necesaria para analizar y monitorear la producción/pérdidas de la planta.



COMPONENTE	USO
Radiación: Irradiancia horizontal global (GHI)* Irradiancia normal directa (DNI) Irradiancia horizontal difusa (DHI) Irradiancia inclinada global (GTI-POA) Albedo	Medición del recurso solar, variabilidad espacial y temporal Las mediciones de albedo complementan estudios de tecnologías de módulos bifaciales
Irradiación	Irradiancia recibida en un tiempo determinado. Proyecciones y rendimiento
Temperatura	Puede afectar el rendimiento y con ello, la capacidad de generación de la instalación Desempeño y eficiencia
Velocidad y dirección del viento	Dimensionamiento de las cargas mecánicas en los sistemas de seguimiento Modelado de enfriamiento de módulos solares a partir del viento. Capacidad y proyección de rendimiento.
Precipitación	Afecta la capacidad de generación y proyección. Ciclos de Lluvia para programar limpieza.
Humedad	Puede afectar el rendimiento, mantenimiento y capacidad proyectada. Calidad de equipamiento
Presión atmosférica	Afecta la proyección y capacidad de generación
Ratio de suciedad	Puede afectar la proyección de mantenimiento y capacidad de generación



Estación meteorológica



SCADA para sistemas fotovoltaicos

- **Switch de comunicaciones**



- Distribución de datos
- Conmutación de paquetes
- Aseguramiento de la integridad y prioridad de los datos
- Redundancia y tolerancia a fallos
- Seguridad de la red
- Interconexión de diferentes segmentos de red

- **Firewall**



- Control de acceso
- Filtrado de paquetes
- Detección y prevención de intrusiones (IDS/IPS)
- Segmentación de la red
- VPN

- **Router**



- Enrutamiento de Paquetes
- Interconexión de Redes
- Segmentación de la Red
- Balanceo de Carga

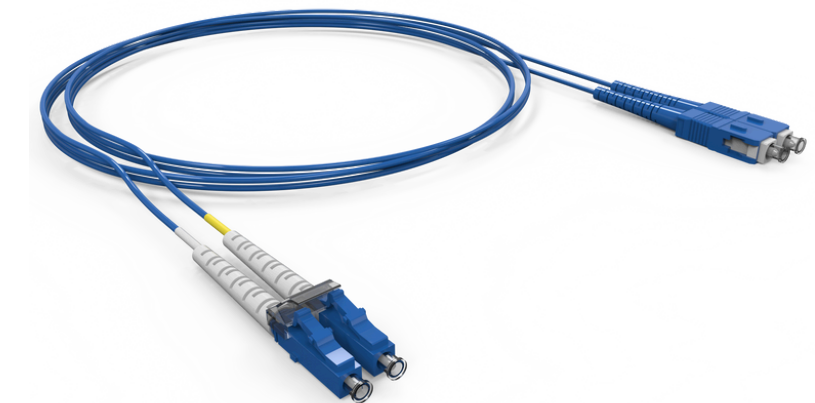
- **Convertidores de Protocolo**



- **Organizadores de Fibra Óptica**



- **Cableado de Comunicaciones**



Características principales

- Gestionar la operación de la planta PV
- Coordinar la operación de los inversores ajustando la producción de energía
- Optimizar la generación de energía
- Asegura la correcta integración de la planta con la red eléctrica
- Garantiza el cumplimiento de los requisitos regulatorios y normativos



PPC (Power Plant Controller)



Funciones

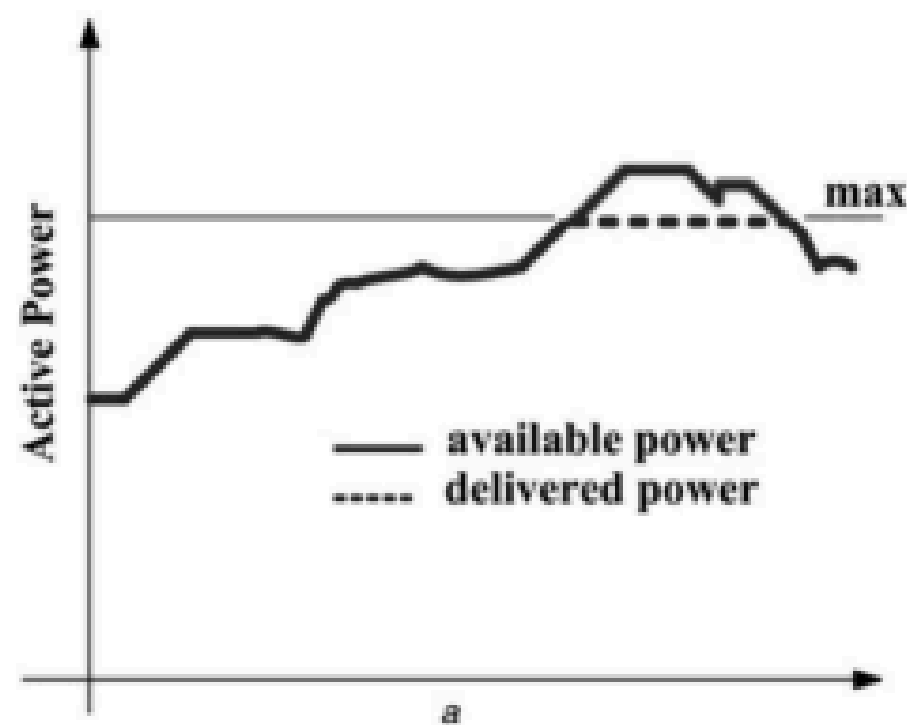
- Regulación de potencia activa y reactiva
- Regulación de tensión y frecuencia
- Recepción y envío de setpoints
- Supervisión y tratamiento de variables meteorológicas
- Supervisión y tratamiento de medidas eléctricas
- Estabilización de las variables de generación

Funcionamiento

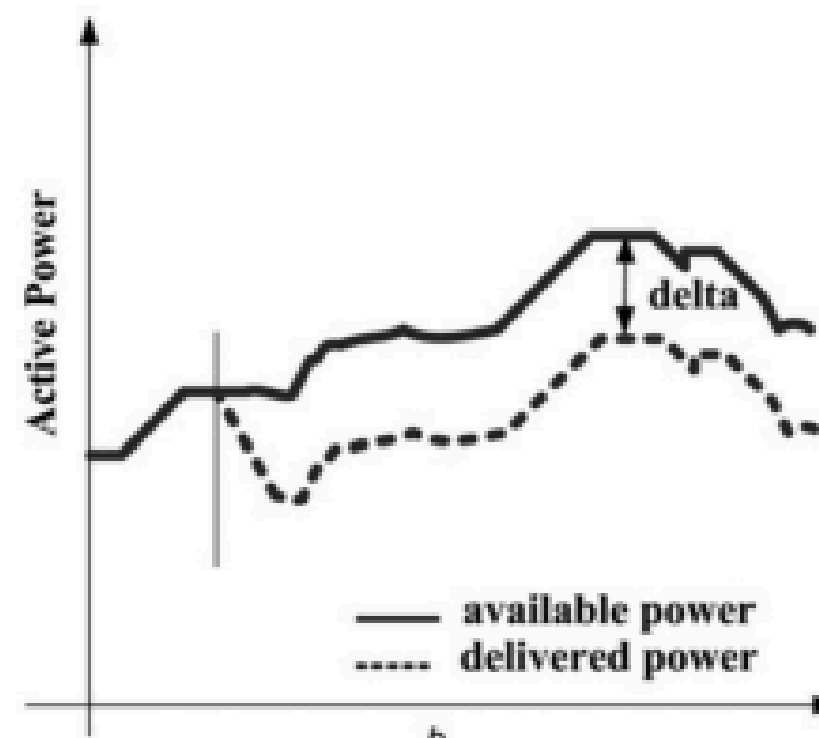
- Recepción y procesamiento de datos
 - Control de la producción de energía
- Coordinación con la red eléctrica
 - Implementación de curvas de potencia
- Coordinación del MPPT
 - Comunicación con el sistema SCADA
- Respuesta a eventos de la red

Normal operation	Maximum power extraction
Balance control	Limit to a constant value of active power
Delta control	Reduction of (constant amount) of generation
Power ramp rate control	Limitation of increase or decrease of active power

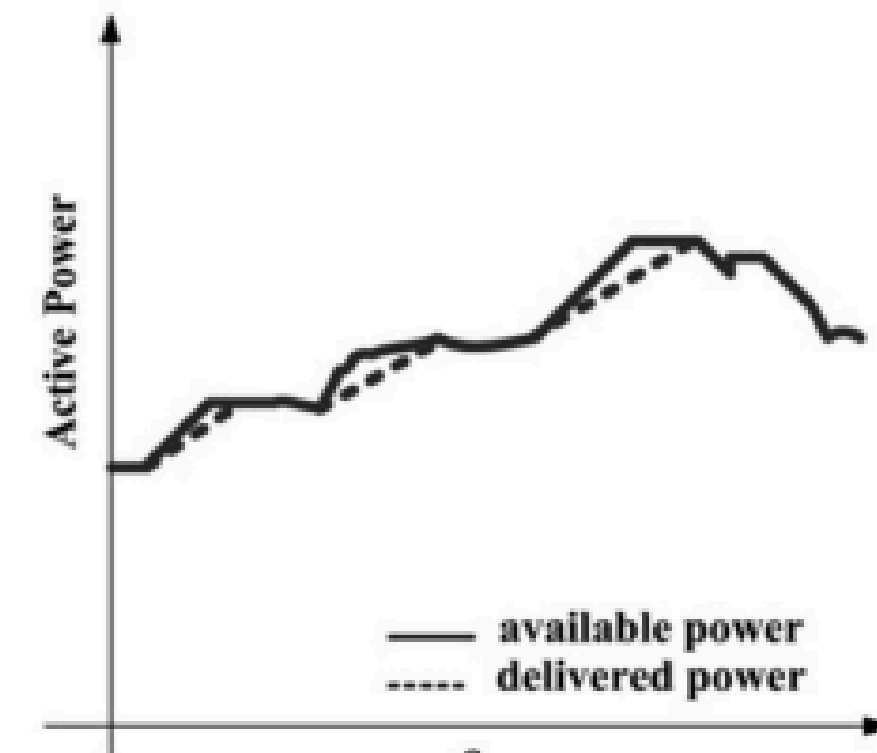
Balance control

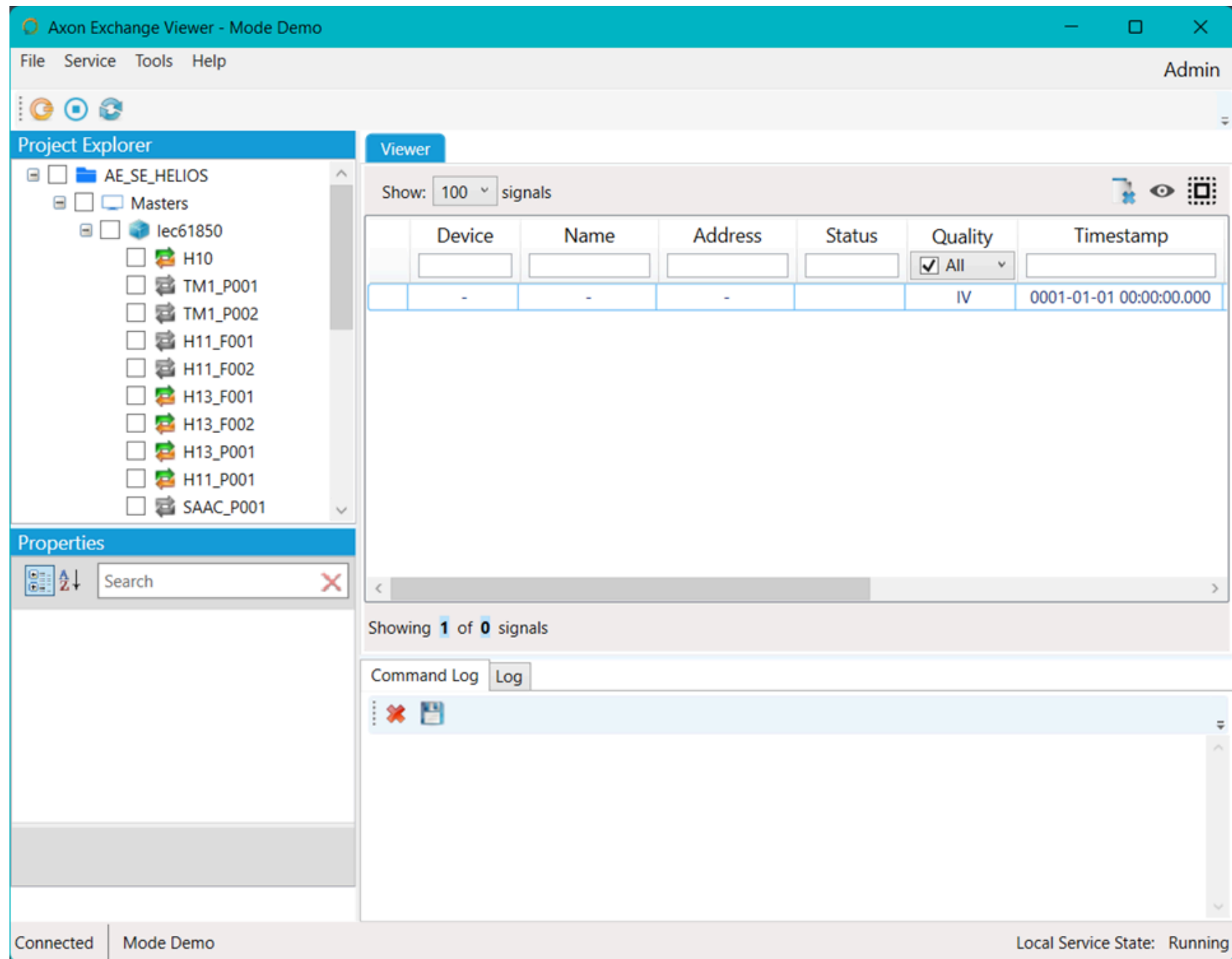


Delta control



Ramp rate control





- Conversión de protocolos
- Gestión y visualización de datos
- Integración redundante
- Registro de eventos y comandos
- Protocolos:
 - IEC 61850
 - ICCP / TASE.2
 - DNP3 LAN / WAN
 - IEC 60870-5-104
 - IEC 60870-5-104 (Perfil Endesa)
 - IEC 60870-5-104 Serial / Over TCP
 - OCP
 - Modbus
- Filtrado de Comunicaciones



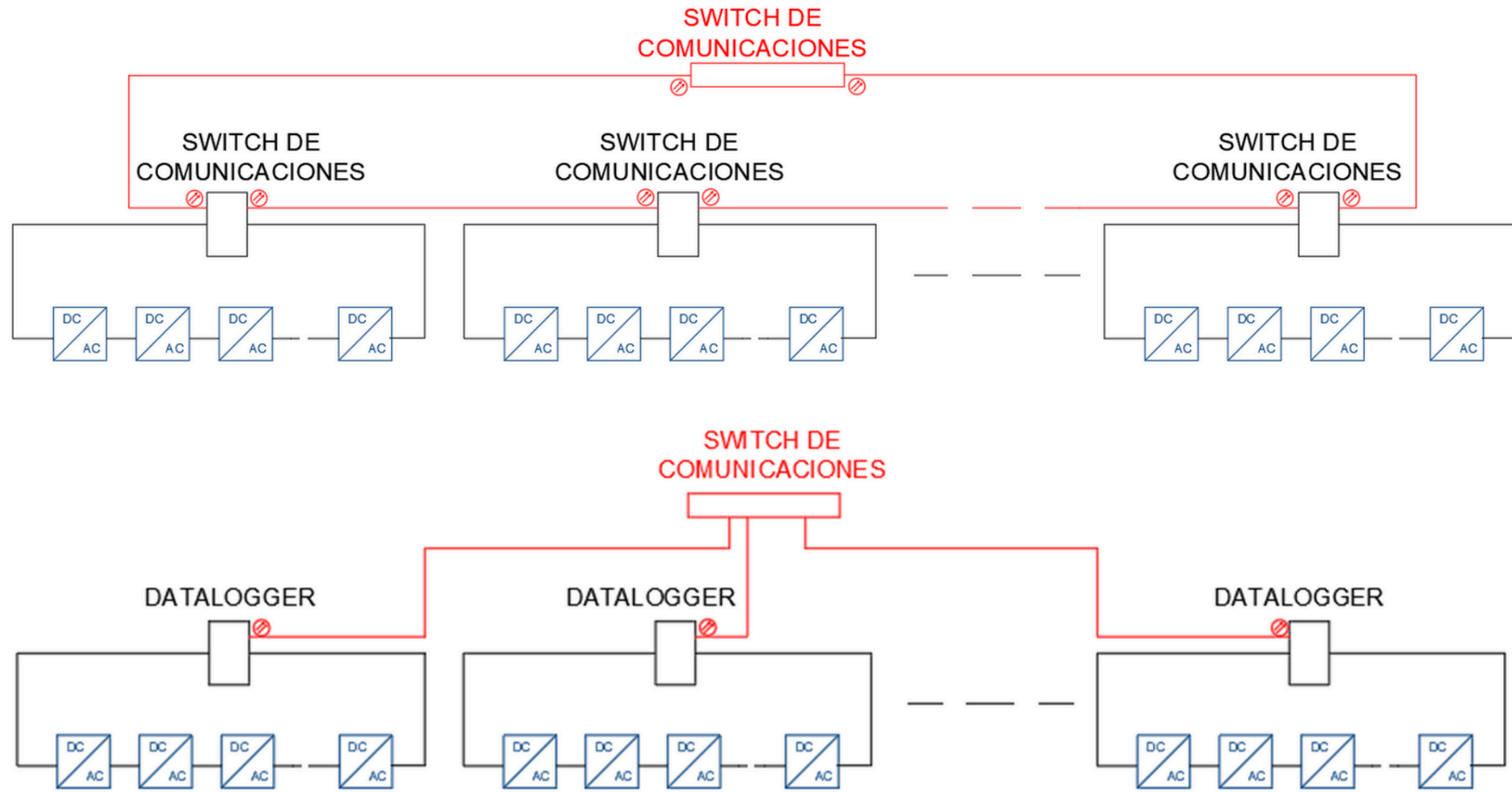
Gateway (Concentrador de señales)

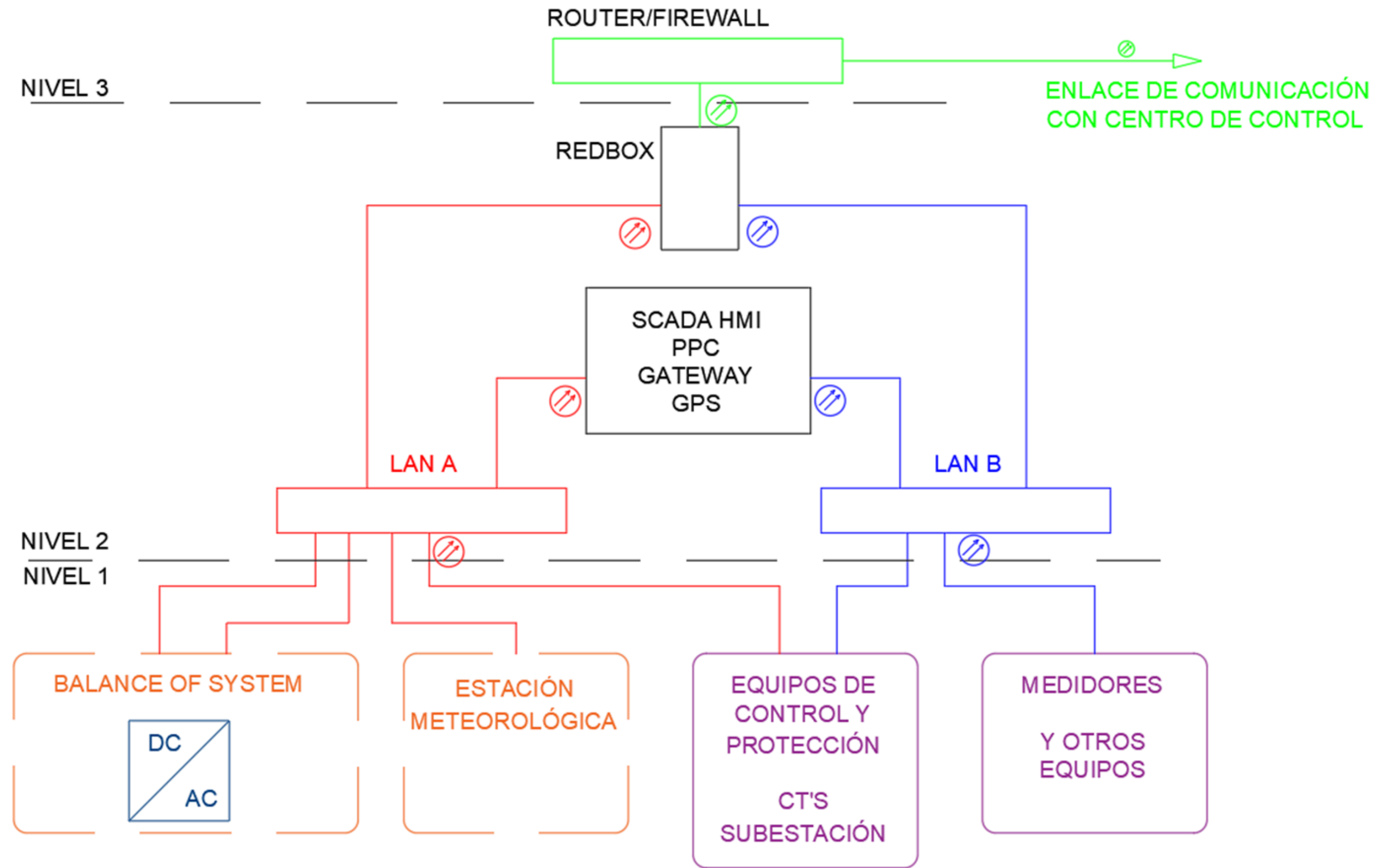


SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

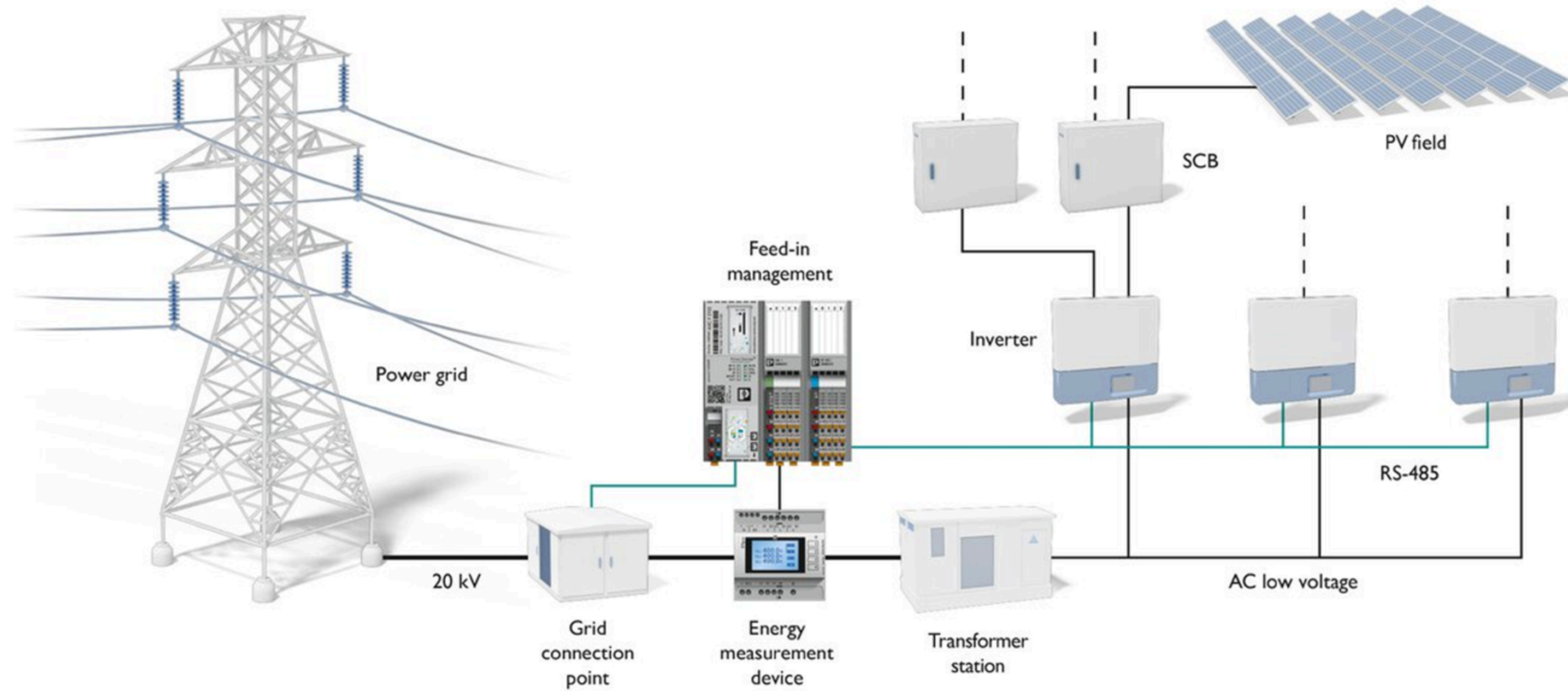
- Supervisión del estado de cada uno de los equipos
- Control de protecciones
- Envío y recepción de SetPoints para las regulaciones aplicadas a la generación
- Visualización dinámica
- Accesos seguros, remotos y locales
- Centros de control
- Estimación de generación
- Multi - protocolo
- Ajustes según requerimientos
- Escalabilidad
- Flexibilidad

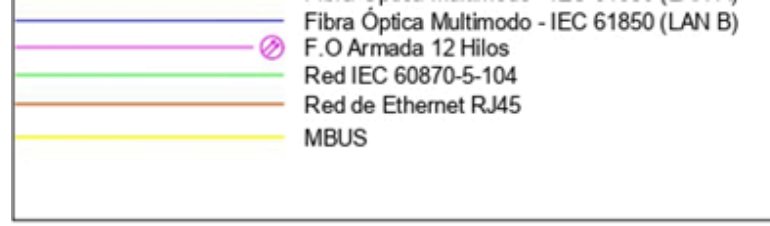






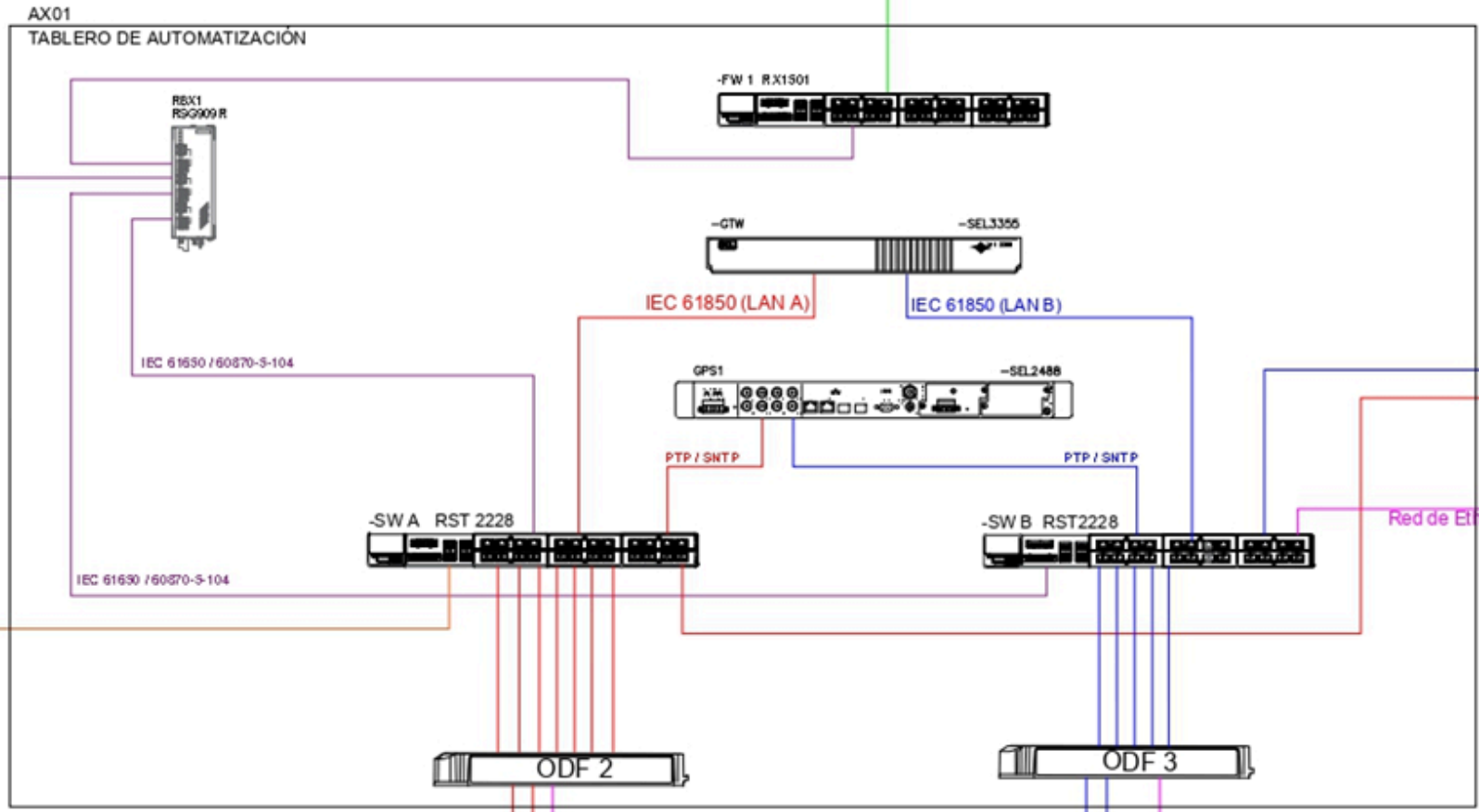
Arquitecturas





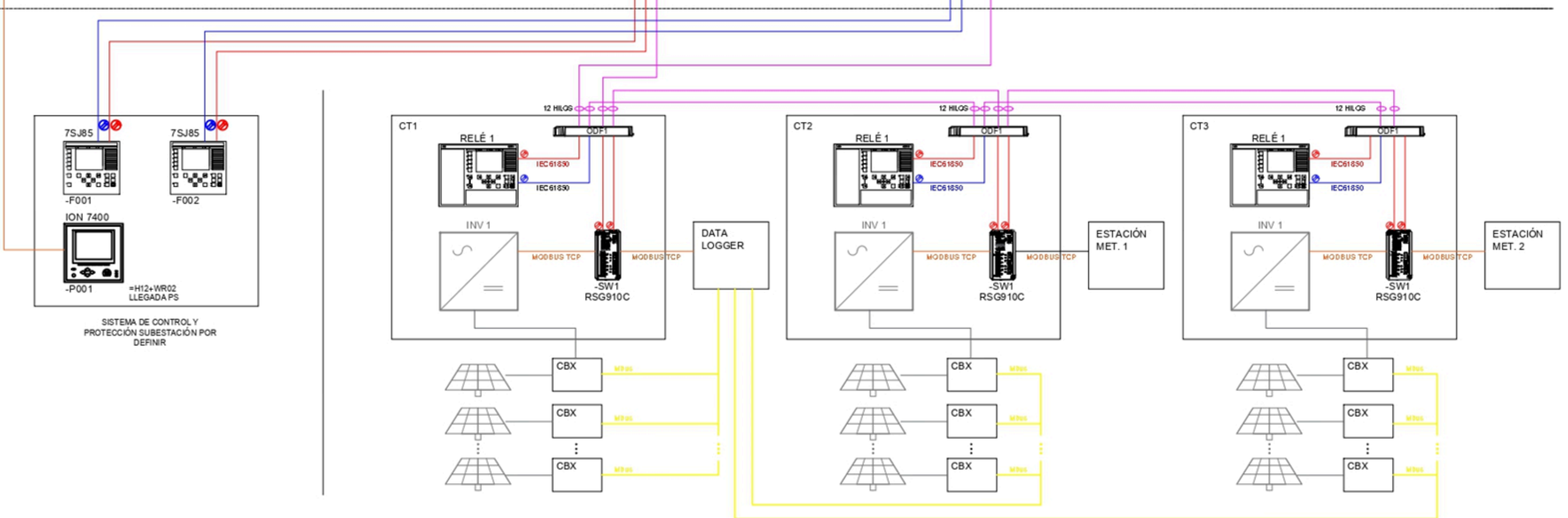
Nivel 3

Hacia centro de control



Nivel 2

Nivel 1





IEC (International Electrotechnical Commission)

- **IEC 61724 Photovoltaic System Performance**
 - Part 1: Monitoring
 - Class A, B, C systems
 - Guidance on monitoring equipment, data collection
 - Number, location, maintenance, sampling and recording frequency

	Clase A	Clase B	Clase C
Exactitud	Alta	Media	Básica
Propósito	SSFV conectados a la red	SSFV industriales	SSFV pequeños
Irradiancia y medición ambiental	Conjunto de sensores especificado: Número especificado de sensores, variables especificadas	Conjunto de sensores especificado: Número especificado de sensores, podrían venir de otras fuentes	pueden venir de fuentes de datos satelitales
Medición variables eléctricas	A nivel de array (especificadas)	A nivel de POI (especificadas)	P y E a la salida
Controles de calidad	Calibración inicial, programada e inspección anual	Calibración inicial, programada e inspección bi-anual	Calibración inicial, y programada por el fabricante

	Clase A	Clase B	Clase C
Evaluación básica del rendimiento del sistema	X	X	X
Documentación del rendimiento garantizado	X	X	
Análisis de pérdidas del sistema	X	X	
Evaluación de la integración de la red eléctrica	X		
Localización de fallas	X		
Medición precisa de la degradación del sistema fotovoltaico	X		
Intervalo de muestreo máximo para irradiancia, temperatura, viento, salida eléctrica de CC y CA	3 seg	1 min	1 min
Intervalo máximo de almacenamiento	5 min	15 min	60 mmin

IEC 61724-1

Parámetros de monitoreo

- Irradiancia solar (W/m^2)
- Temperatura del módulo y ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
- Voltaje y corriente del sistema
- Producción de energía (kWh)

Frecuencia de muestreo y registro de datos

- Frecuencia de muestreo
 - Un muestreo más frecuente permite una detección más rápida de anomalías y proporciona un perfil más detallado del rendimiento del sistema a lo largo del tiempo
- Frecuencia de registro
 - Un registro adecuado permite realizar análisis más precisos, como la identificación de patrones de rendimiento a lo largo del día, la semana, o el mes



IEC 61724-1

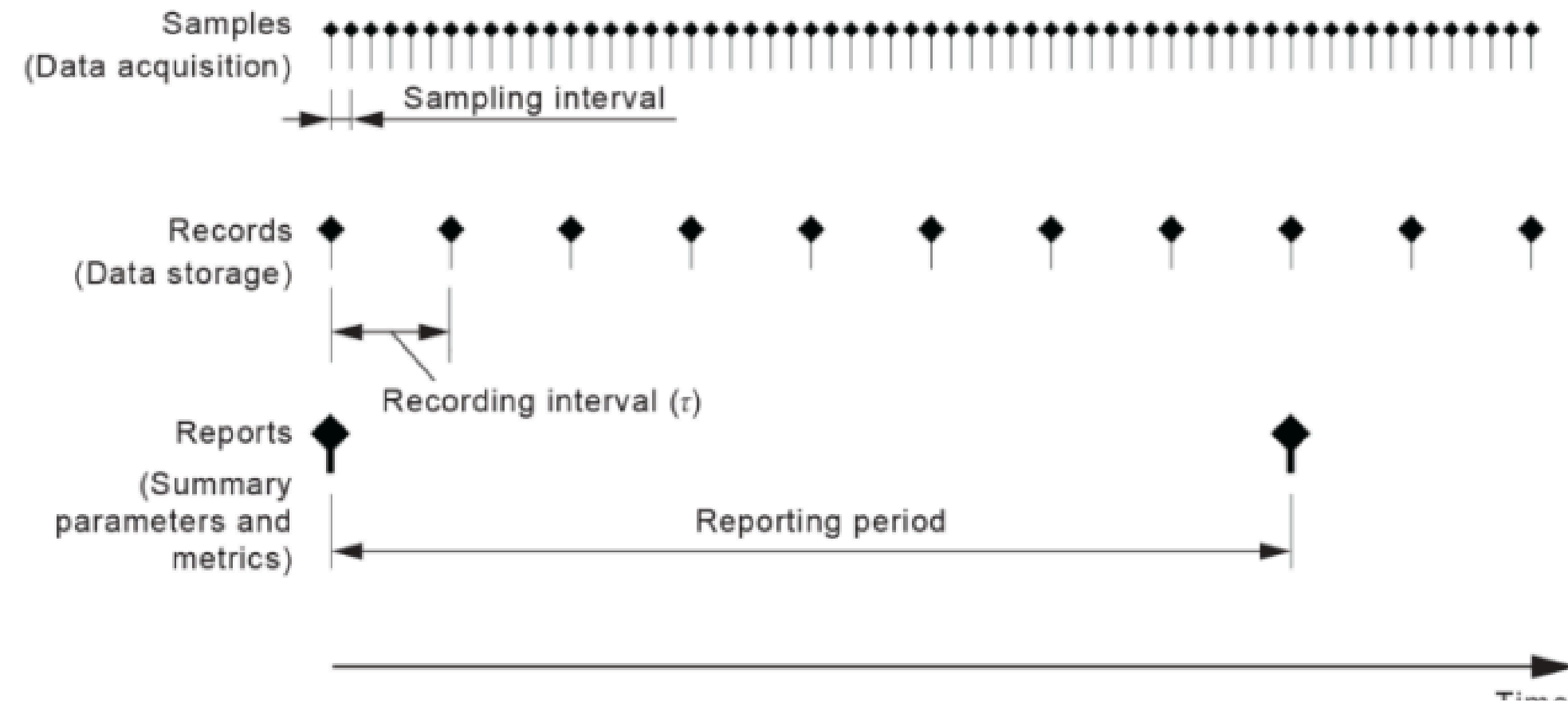


Table 1 – Sampling and recording interval requirements

	Class A High accuracy	Class B Medium accuracy
Maximum sampling interval For irradiance, temperature, wind and electrical output	5 s	1 min
Maximum recording interval	5 min (1 min – recommended)	15 min

Table 7 – Calculated parameters

Parameter	Symbol	Unit
Irradiation (see 13.3)		
In-plane irradiation	H_i	kWh·m ⁻²
In-plane rear-side irradiation (for bifacial)	H_i^{rear}	kWh·m ⁻²
Electrical energy (see 13.4)		
PV array output energy (DC)	E_A	kWh
Energy output from PV system (AC)	E_{out}	kWh
Array power rating (see 13.5)		
Array power rating (DC)	P_0	kW
Array power rating (AC)	$P_{0,AC}$	kW
Yields and yield losses (see 13.6 and 13.7)		
PV array energy yield	Y_A	kWh·kW ⁻¹
Final system yield	Y_f	kWh·kW ⁻¹
Reference yield	Y_r	kWh·kW ⁻¹
Array capture loss	L_C	kWh·kW ⁻¹
Balance of system (BOS) loss	L_{BOS}	kWh·kW ⁻¹
Efficiencies (Subclause 13.8)		
Array efficiency	η_A	None
System efficiency	η_f	None
BOS efficiency	η_{BOS}	None

IEC 61724-1

Exactitud y precisión de las mediciones

- Piranómetros: $\pm 5\%$
- Sensores de Temperatura: $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Medidores de Energía: $\pm 1\%$

Cálculo del rendimiento

- Rendimiento final:

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{MAXSTC}}$$

- Rendimiento esperado:

$$Y_r = \frac{E_{Ghi}}{G_{0STC}}$$

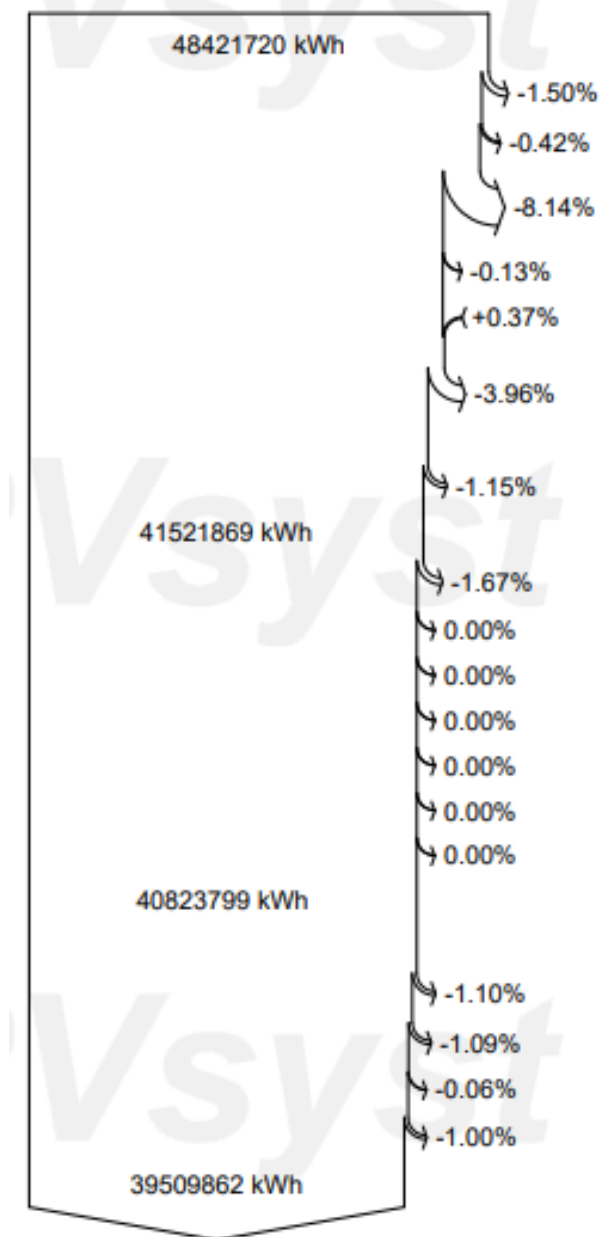


Definición de PR

PR (Performance Ratio):

- Prueba final donde se garantiza que la energía generada por la planta es aquella fue indicada en la fase de diseño.
- Es una medición de las pérdidas de energía internas de la planta.
- Normativas IEC 61724 e IEEE 1526.
- Comparación entre la producción de energía real generada por la planta en el punto de conexión eléctrico con aquella que oportunamente fue simulada.
- Es determinante que las condiciones con las que se diseña y simula la planta en el software utilizado sean representativas de la realidad que enfrentará la planta a la hora de entrar en operación.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r}$$



Conjunto de energía nominal (con efic. STC)

Pérdida de degradación módulos (por año #1)

Pérdida FV debido al nivel de irradiancia

Pérdida FV debido a la temperatura.

Sombreados: pérdida eléctrica según las cadenas

Pérdida calidad de módulo

Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas (incluyendo 1.8% para dispersión por degradación)

Pérdida óhmica del cableado

Energía virtual del conjunto en MPP

Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)

Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal

Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima

Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal

Pérdida del inversor debido al umbral de potencia

Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje

Consumo nocturno

Energía disponible en la salida del inversor

Pérdidas óhmicas CA

Pérdida de transfo de voltaje medio

Pérdida óhmica de línea MV

Indisponibilidad del sistema

Energía inyectada en la red

Valores Típicos de PR

- **SSFV a gran escala:**

- 75% a 90%
 - Condiciones optimizadas
 - Mantenimiento riguroso.

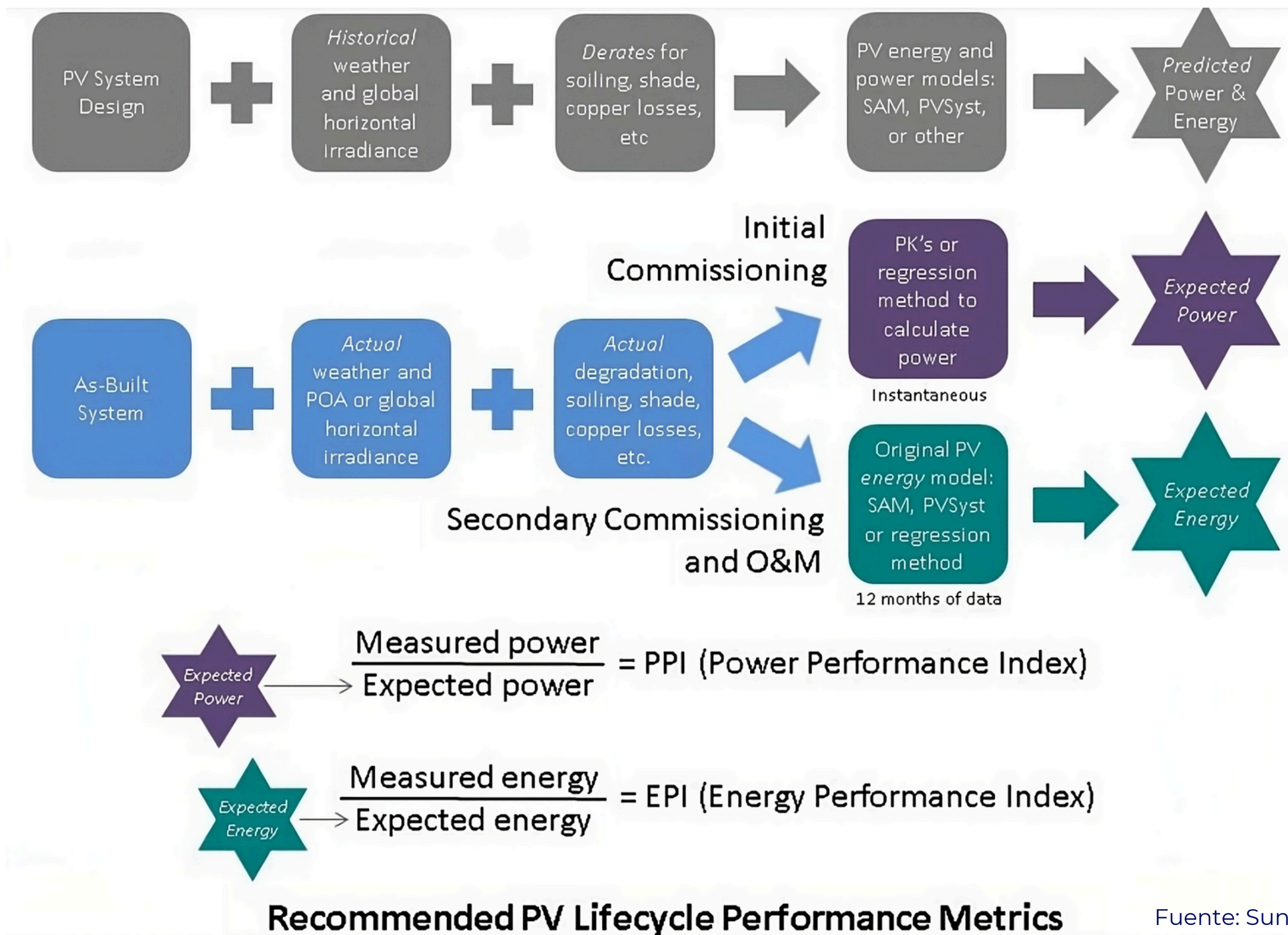
- **Generación Distribuida:**

- 60% a 85%
 - Dependen de factores como la ubicación, las condiciones del sitio, y la calidad del mantenimiento.
 - Sombreados parciales
 - Condiciones ambientales

Factores específicos que afectan el PR

- Sombras cercanas
- Inclinação y Orientación
- Diversidad de Equipos
- Intervenciones Humanas





Axon Builder3

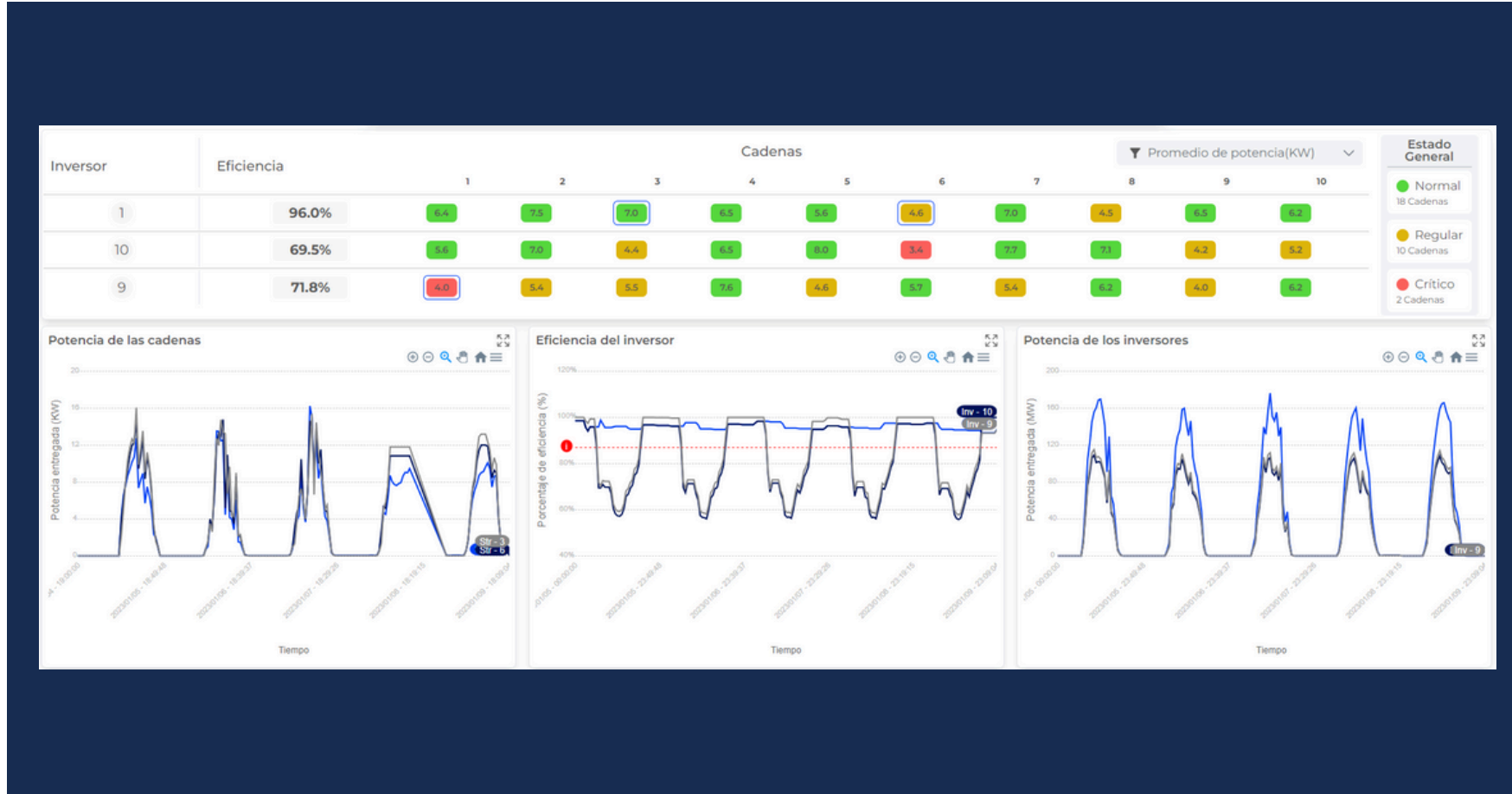
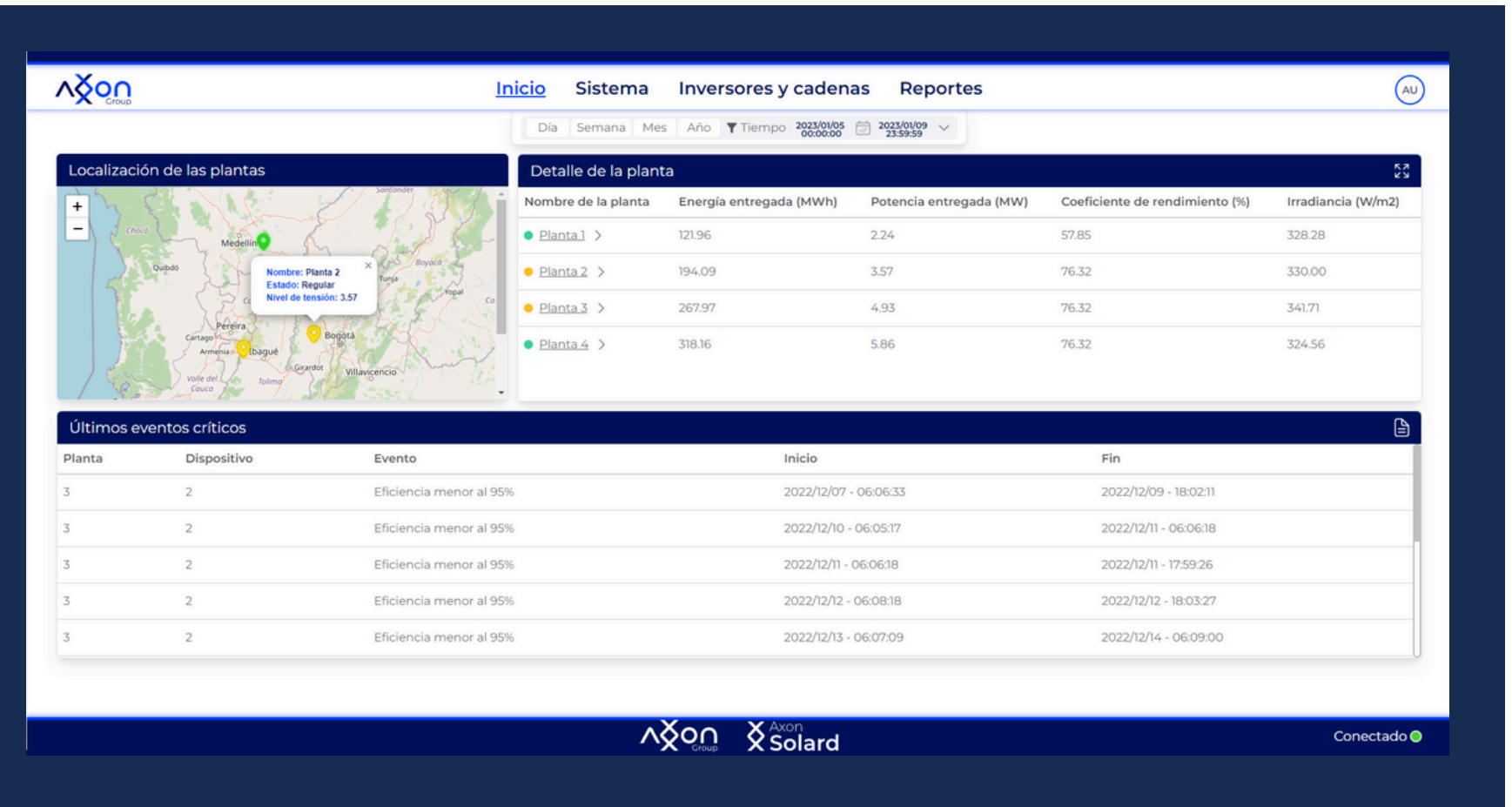


INV1 CT1

Voltajes DC	Corrientes DC	Potencias DC
PV 1: 963 V	PV 1: 8.3 A	PV 1: 11 kW
PV 2: 963 V	PV 2: 8.3 A	PV 2: 11 kW
PV 3: 963 V	PV 3: 8.3 A	PV 3: 11 kW
PV 4: 963 V	PV 4: 8.3 A	PV 4: 11 kW
PV 5: 963 V	PV 5: 8.3 A	PV 5: 11 kW
PV 6: 963 V	PV 6: 8.3 A	PV 6: 11 kW
PV 7: 963 V	PV 7: 8.3 A	PV 7: 11 kW
PV 8: 963 V	PV 8: 8.3 A	PV 8: 11 kW
PV 9: 963 V	PV 9: 8.3 A	PV 9: 11 kW
PV 10: 963 V	PV 10: 8.3 A	PV 10: 11 kW
PV 11: 963 V	PV 11: 8.3 A	PV 11: 11 kW
PV 12: 963 V	PV 12: 8.3 A	PV 12: 11 kW



- > SCADA de sistemas PV
- > Adquisición de datos
- > Control y operación a nivel de PS y SE
- > Librería y asistentes especializada para PV
- > Tiempo real (SCADA)

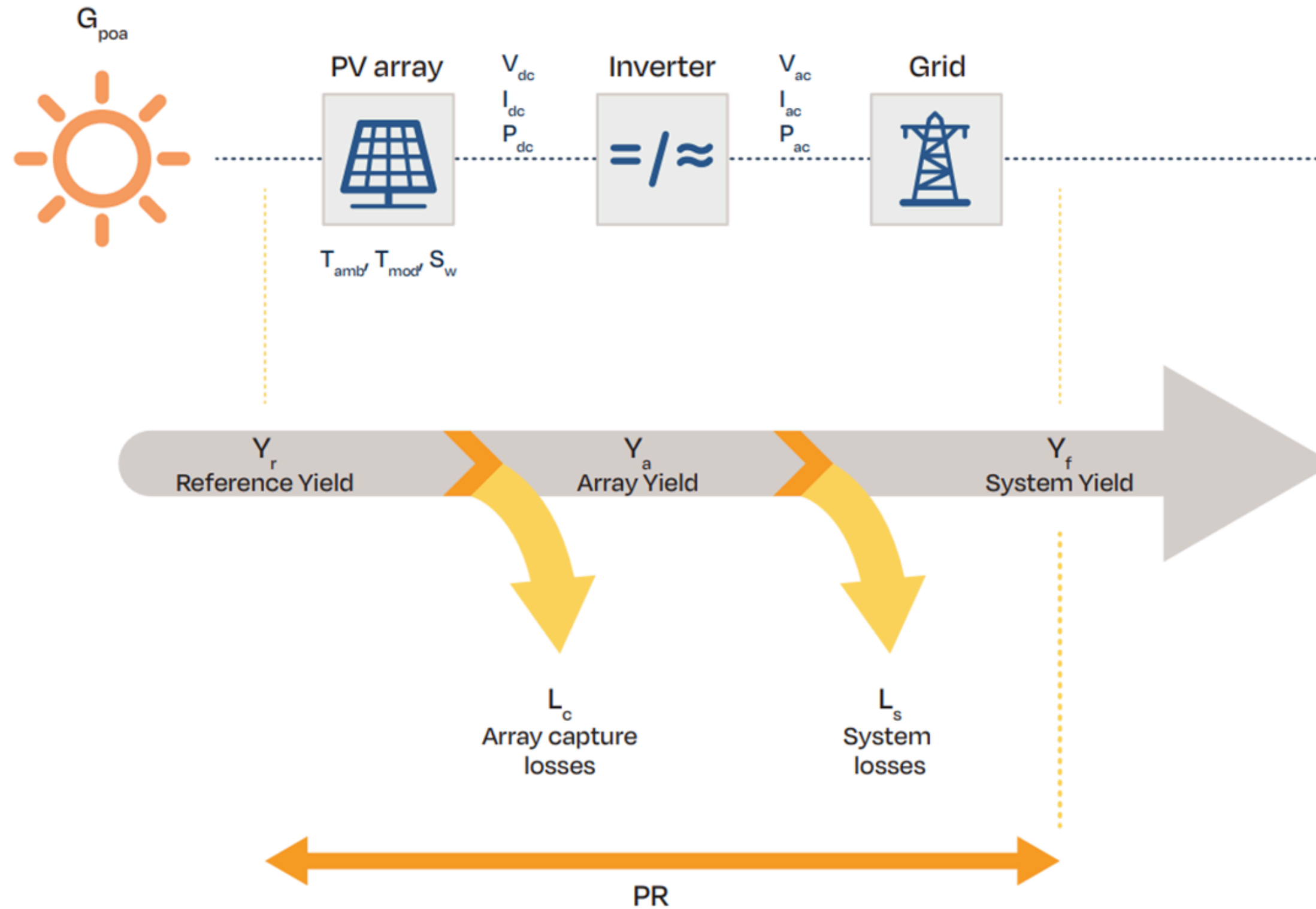


- Analisis de información integrada en el SCADA
- Representación dinámica de datos históricos
- Optimizar O&M
- Prevención de posibles fallas
- Análisis de rendimiento
- Integración de varias plantas PV



Optimización de sistemas PV

Control y supervisión de sistemas PV



Fuente: Solar Power Europe

Control y supervisión de sistemas PV

Datalogger

- Recolección de datos
- Alarmas
- Backup de datos
- Soporte
- Integración de BoS

HMI

- Lectura de todos los equipos
- Reportes configurables
- Visualización de datos, indicadores, alarmas.
- Disponibilidad de datos
- Despliegues intuitivos
- Niveles de acceso
- Gráficos
- Control de generación (PPC)

Aspectos relevantes

- Formato de datos
- Calidad y selección de datos
- Configuración
- Interoperabilidad
- Ciberseguridad

Sist. de comunicaciones

- Ancho de banda
- Conexiones en fibra
- Redundancia en la integración
- Enrutador industrial
- Cableado blindado

Control y supervisión de sistemas PV

Datos recopilados por el SCADA

- Medidas de irradiancia
- Temperatura de equipos
- Datos meteorológicos
- Medidas en cadenas
- Señales en inversores
- Medidor de POI
- Comandos de control
- Alarmas
- Sistemas de protección

Datos recopilados por sistemas especializados

- Termografías
- Trazado de curvas I-P,P-V
- Electroluminiscencia
- Imagen de campo magnético
- Medidas de ensuciamiento
- Aislamiento

Control y supervisión de sistemas PV

¿Que se debe tener en cuenta?

- **Medidas** (V, A, W, VAr, Hz, Wh, VArh) en el punto de conexión y subarreglos o arreglos.
- **Medidas** (V, A, W) en las cadenas
- Variables **meteorológicas y sensores**
- **Temperaturas** de los equipos
- **Estados de comunicaciones** de cada uno de los equipos
- **Estados físicos y de condición** de los equipos
- **Alarmas**
- **Disparos**
- **Número de equipos y dispositivos**
- **Arquitectura del sistema**
- **Datos históricos**

¿Que se debe calcular y/o analizar?

- **Comportamiento del sistema** (Potencia vs Irradiancia)
- **Potencias** por equipo
- Comportamiento de la **energía vs variables meteorológicas**
- Comparación **histórica de la energía**
- **Eficiencias** de cada equipo
- **Estado de la generación** de cada cadena
- Estados y análisis de la **temperatura en equipos**
- Comparación y análisis de **fallas en disponibilidad de equipos**
- **Rendimiento del sistema**
- Compilado de **disparos, estados y alarmas**

Mantenimiento predictivo



Principios del mantenimiento predictivo

Definición

Prevención basada en datos anticipados.



Objetivo

Prevenir fallos
mantenimiento.

optimizando



Herramientas y tecnologías usadas

Análisis de Big Data: Se procesan grandes volúmenes de datos para identificar tendencias y desviaciones respecto al comportamiento normal.

Sensores IoT: Sensores distribuidos en el SSFV recogen datos en tiempo real sobre temperatura, corriente, voltaje, y otros parámetros críticos.

Modelos Predictivos: Los algoritmos de Machine Learning pueden prever el comportamiento de los componentes y estimar la vida útil restante.



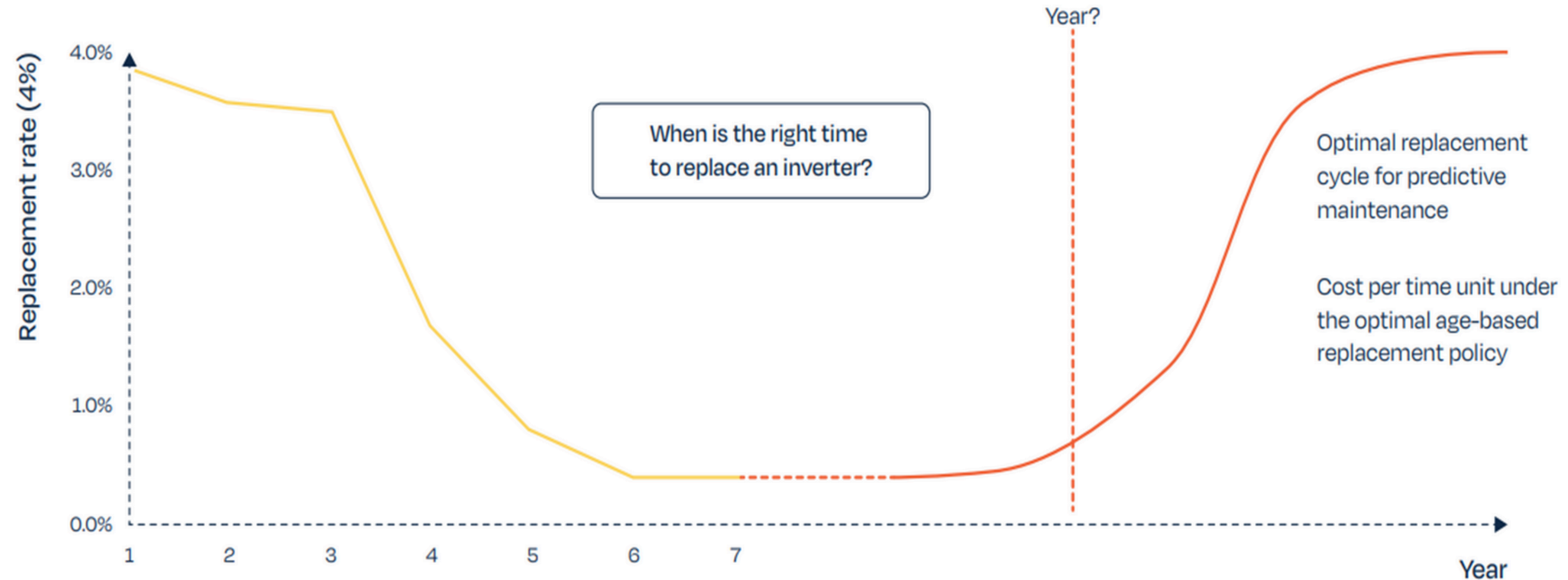
Optimización en el reemplazo de hardware

Beneficios:

- Periódico según los cronogramas acordados contractualmente
- Desviación inesperada en el desempeño del sistema (por medio del SCADA)
- Alta empleabilidad de mantenimiento basado en fallos (reemplazo de equipos)



Optimización en el reemplazo de hardware



- Evaluación del ciclo óptimo de reemplazo de equipos
- Incertidumbre en el tiempo de falla
- Análisis de vida útil restante

Mantenimiento predictivo



- Big data en etapa de operación y mantenimiento
- Observación de la información recopilada
- Detección de fallas y optimización a partir del sistema de monitoreo
- Reducción de costos por programación eficaz del mantenimiento
- Reducción del tiempo de inactividad de la planta (multas o rentabilidad)
- Dificultad en la generalización (por multiplicidad de marcas)

Mantenimiento predictivo (Tendencias)

- Modelar el comportamiento del sistema
- Planificar programas óptimos de mantenimiento y sustitución de hardware (a mediano y largo plazo)
- Reducción de riesgos para los proyectos
- Aumento del atractivo de la inversión



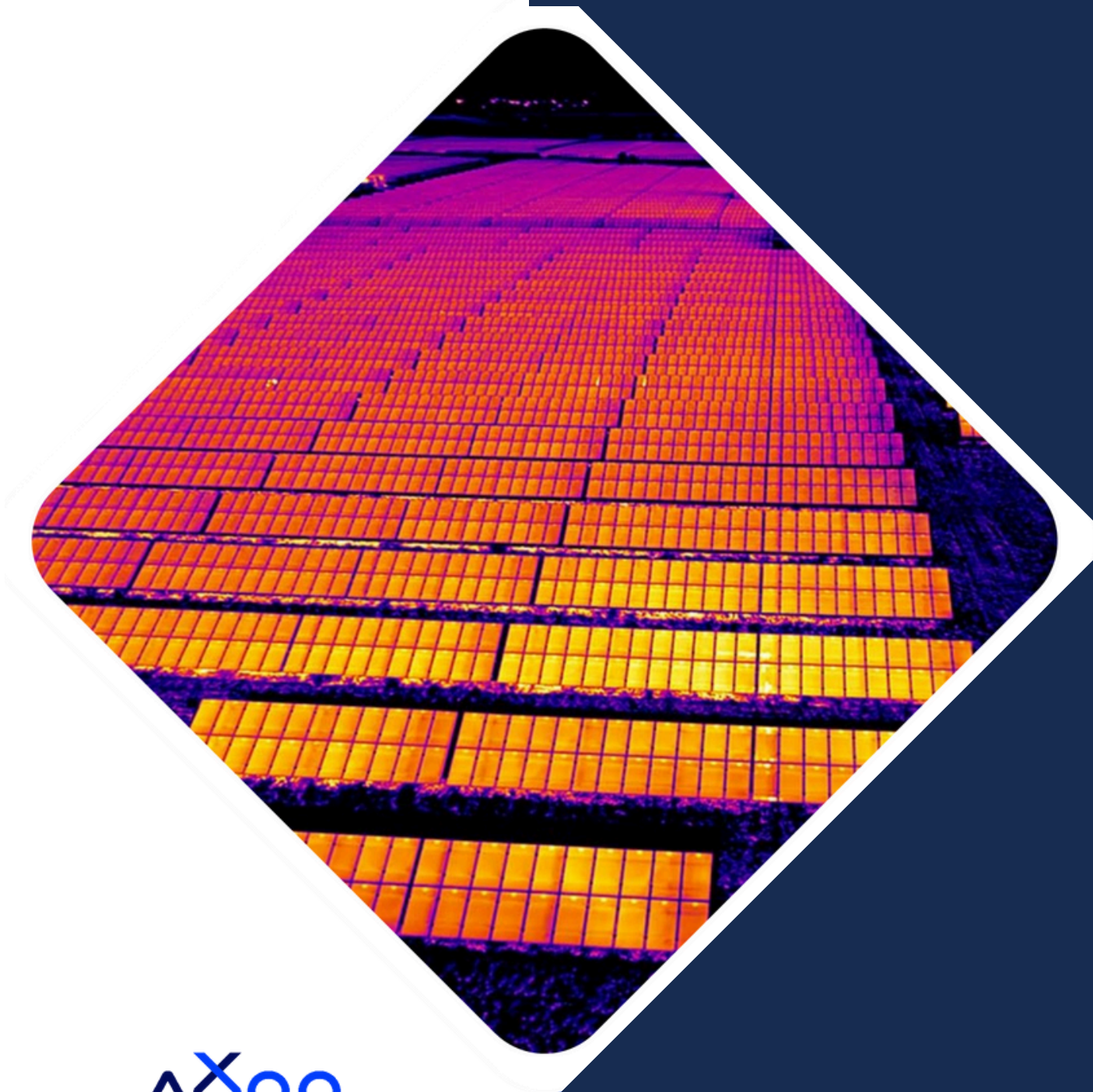
Análisis a partir de imágenes y monitoreo

Características

- Permite otro punto de vista para el análisis de fallas y rendimiento.
- Soluciona la falta de información y datos monitoreados.
- Permite un análisis a nivel de panel y células
- Las inspecciones aéreas proporcionan eficiencia en la detección
- Aumento en la capacidad de diagnóstico y precisión de los datos
- Posibilidad de incorporar gemelos digitales para simulación
- Posibilidad de integración de datos BIM y GIS para omitir la dependencia de imágenes IR

Desventajas

- Inspecciones aéreas en tiempos prolongados (cada 1 o 2 años)
- Permisos y requerimientos por agencias aéreas
- No tiene comunicación con el sistema SCADA
- Es implementado para mantenimiento preventivo y correctivo periódico (no predictivo)



Retos presentes en los sistemas fotovoltaicos

Retos presentes en los sistemas fotovoltaicos



Costos

Almacenamiento

Integración a la red



Eficiencia

Impacto social y ambiental

Almacenamiento de datos y gestión

Operación y mantenimiento

¿Como tecnologías avanzadas como el **Análisis de datos** o el **Machine Learning** puede ayudar a afrontar esos retos?

¿Cuál es el ingrediente principal de estas tecnologías?

¿Cuál es el ingrediente principal
de estas tecnologías?

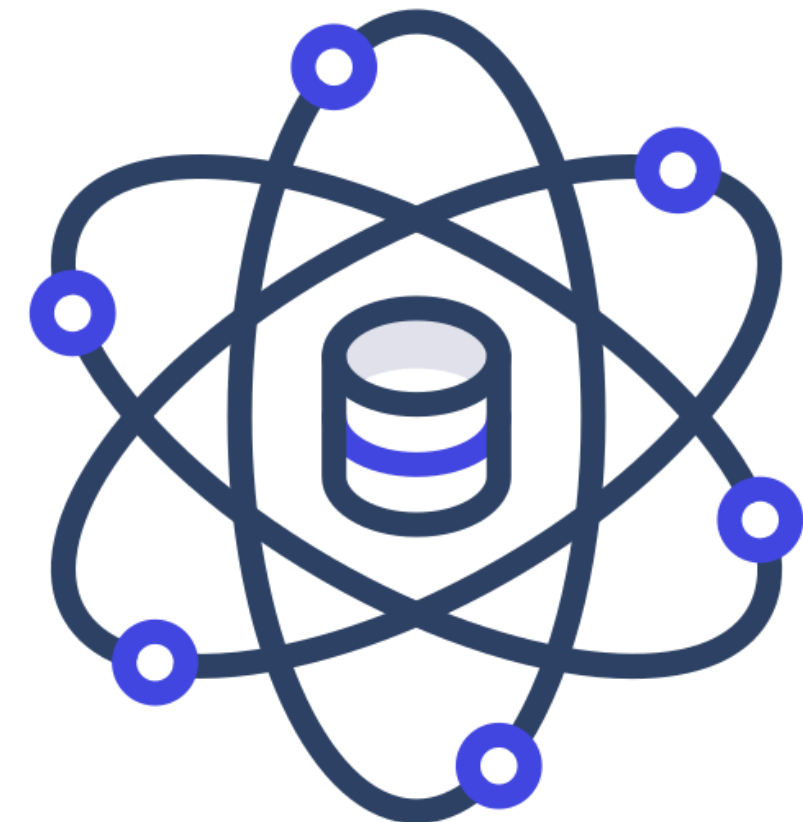
Datos

¿Cuál es el ingrediente principal de estas tecnologías?

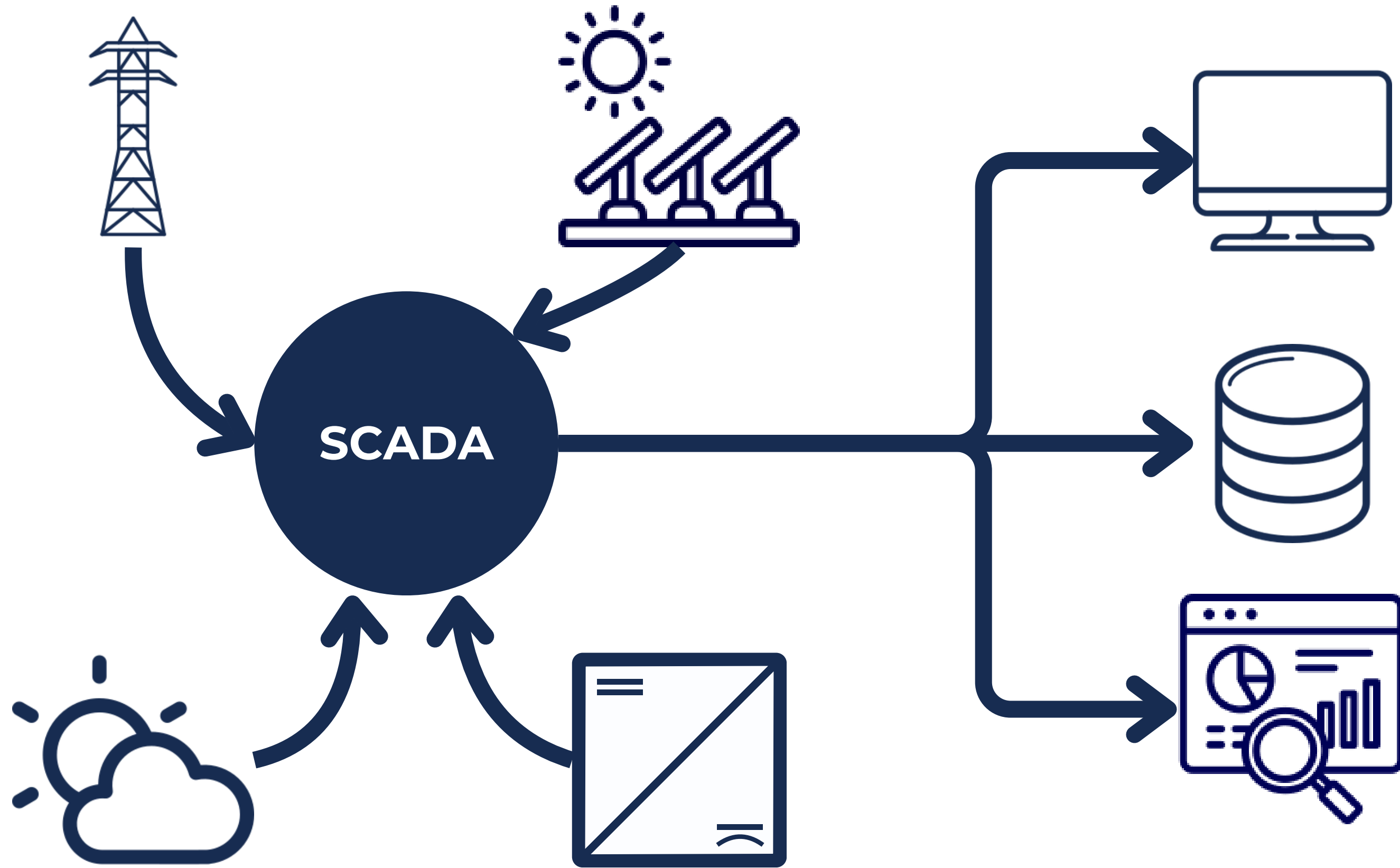
Datos

Data Science

- > Definir y comprender el problema
- > Recopilar datos
- > Explorar los datos
- > Preparar los datos
- > Generación de modelos
- > **Extraer valor de los datos y generar resultados**

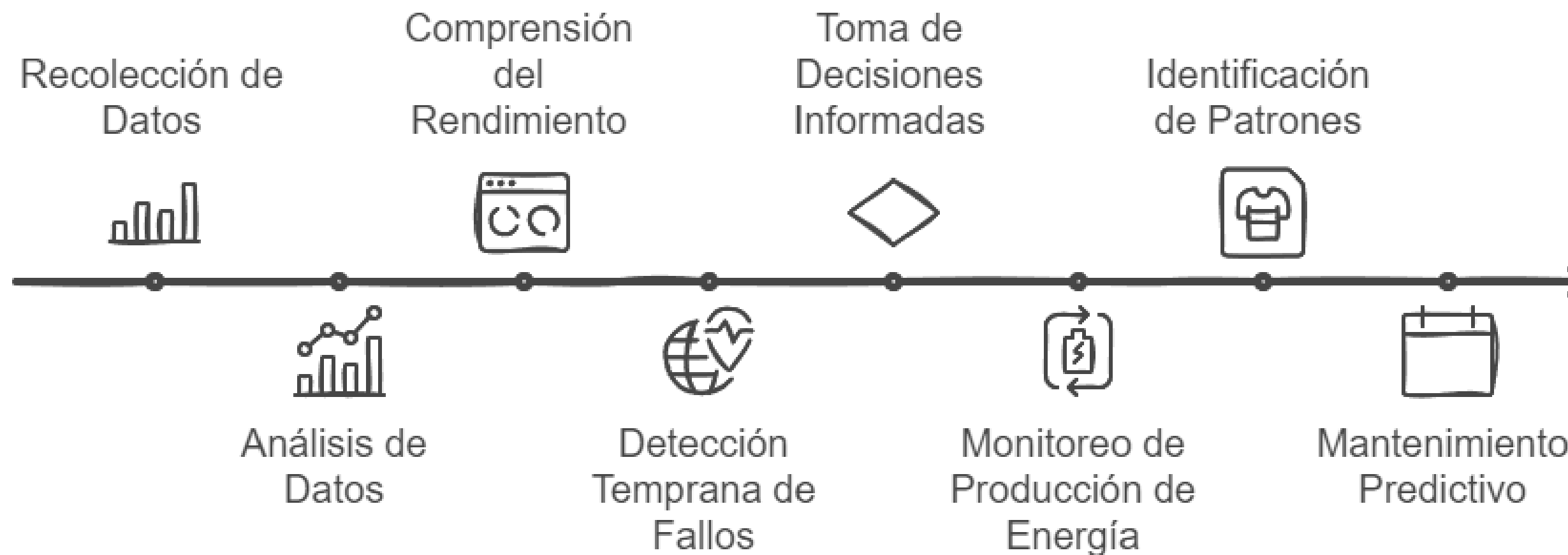


Analisis de datos para SSFV



Analisis de datos para SSFV

Eficiencia Operativa Basada en Datos



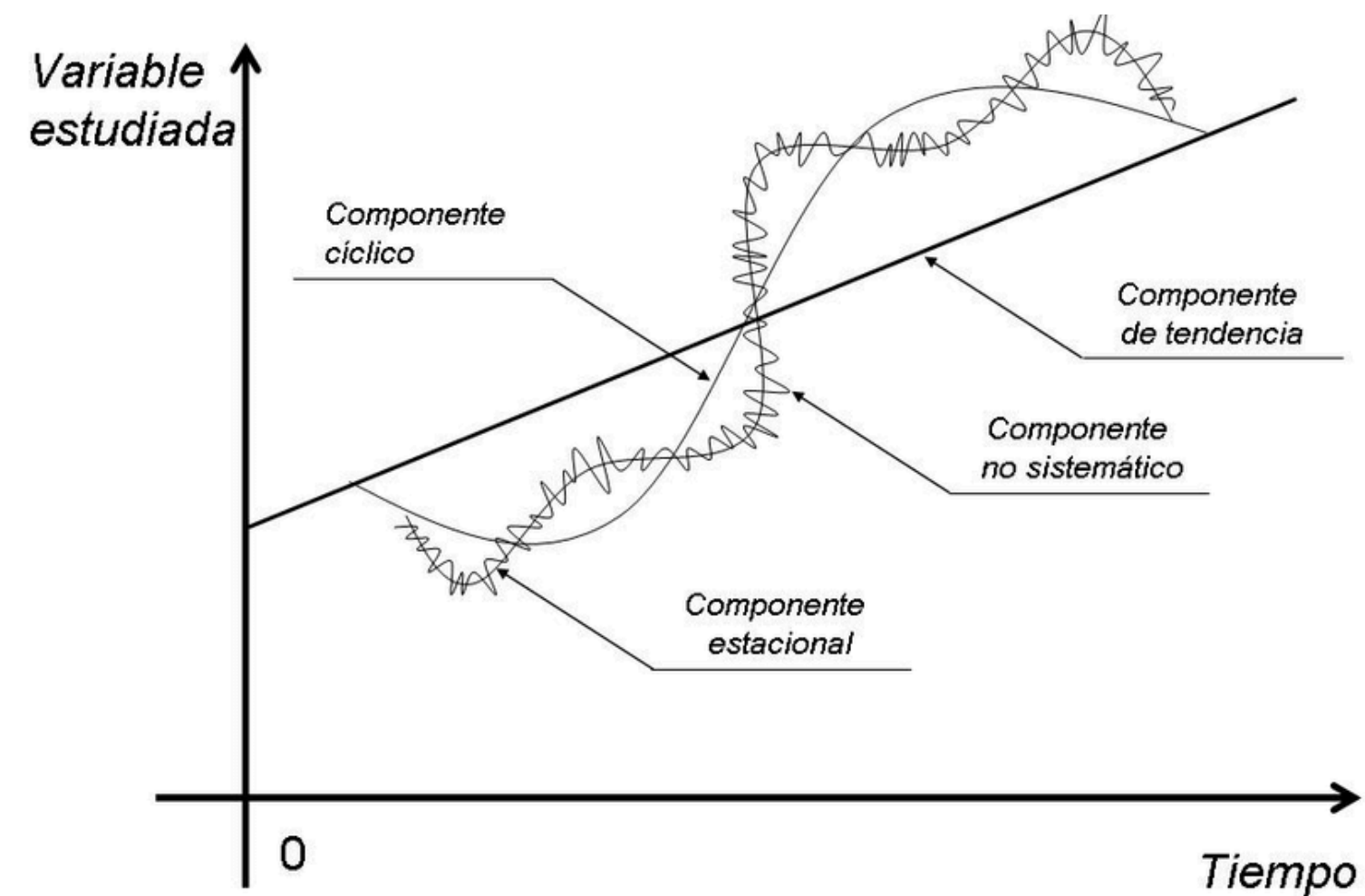
Series Temporales

Definición

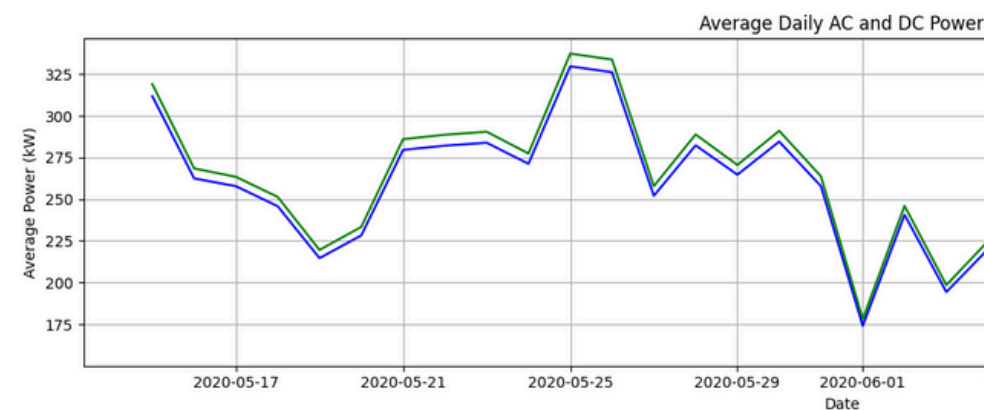
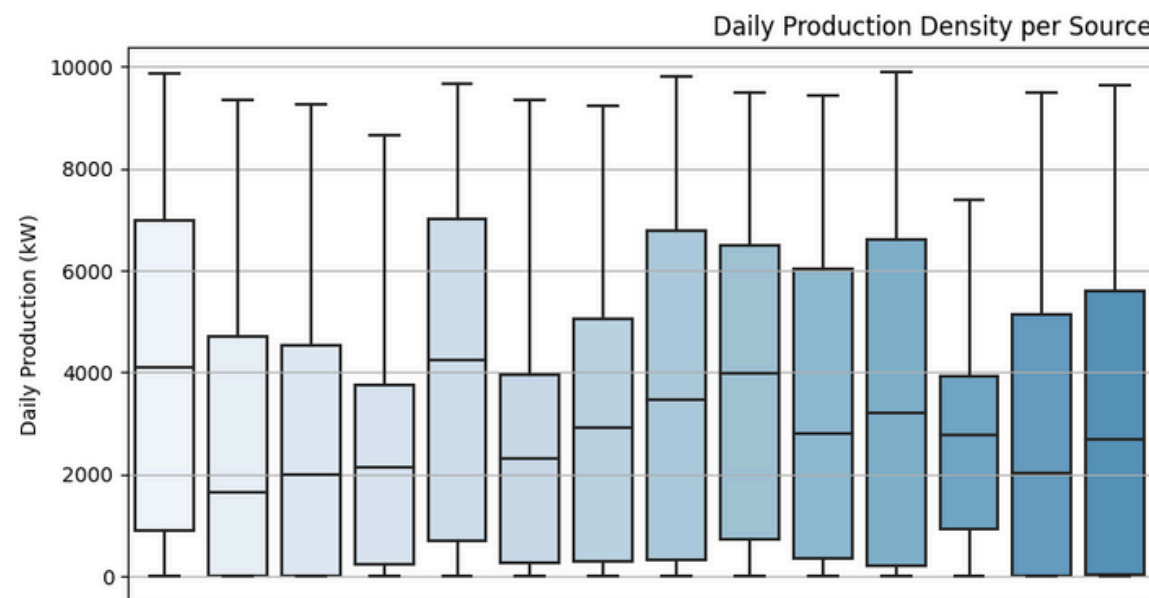
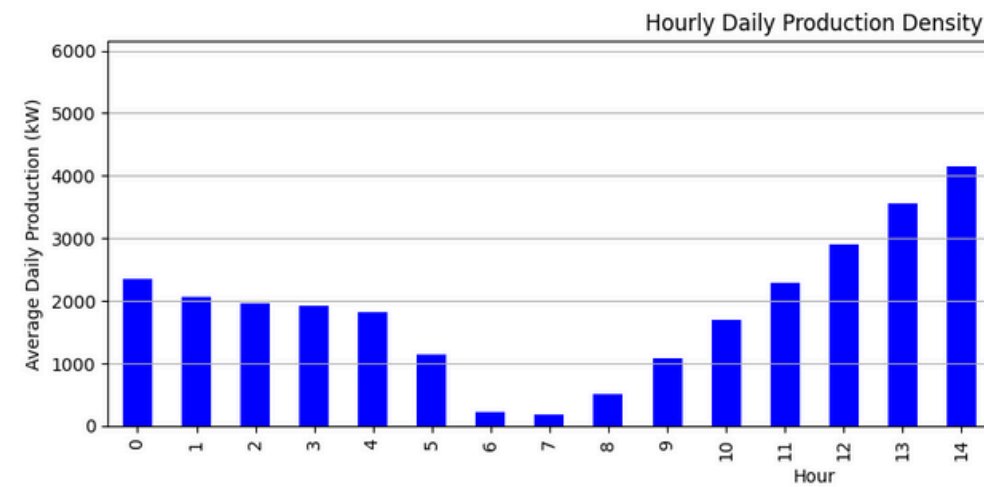
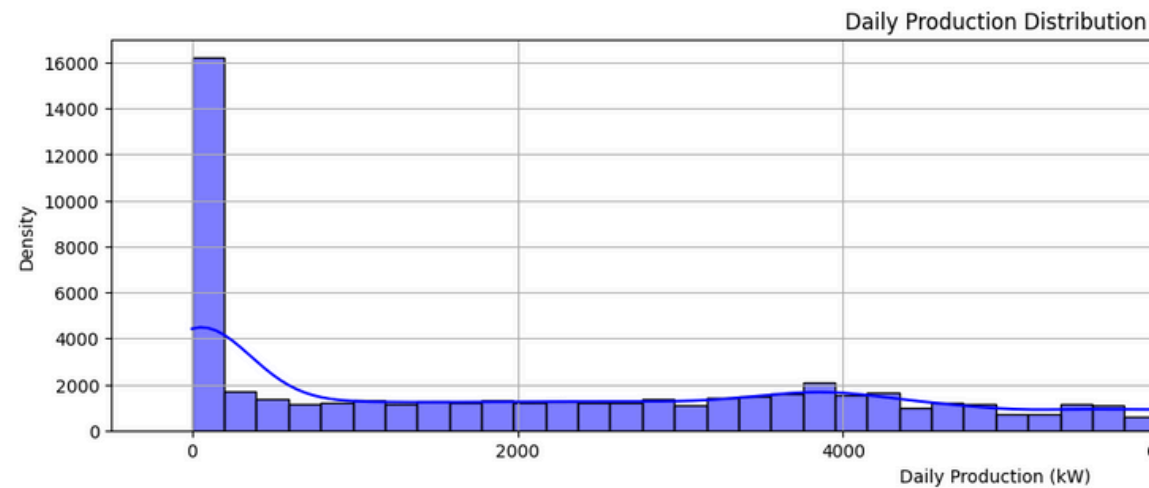
Secuencia de datos recolectados en intervalos de tiempo sucesivos.
Estampado de tiempo del proceso o del sistema.

Componentes

- Tendencia
- Estacionalidad
- Ciclo
- Ruido

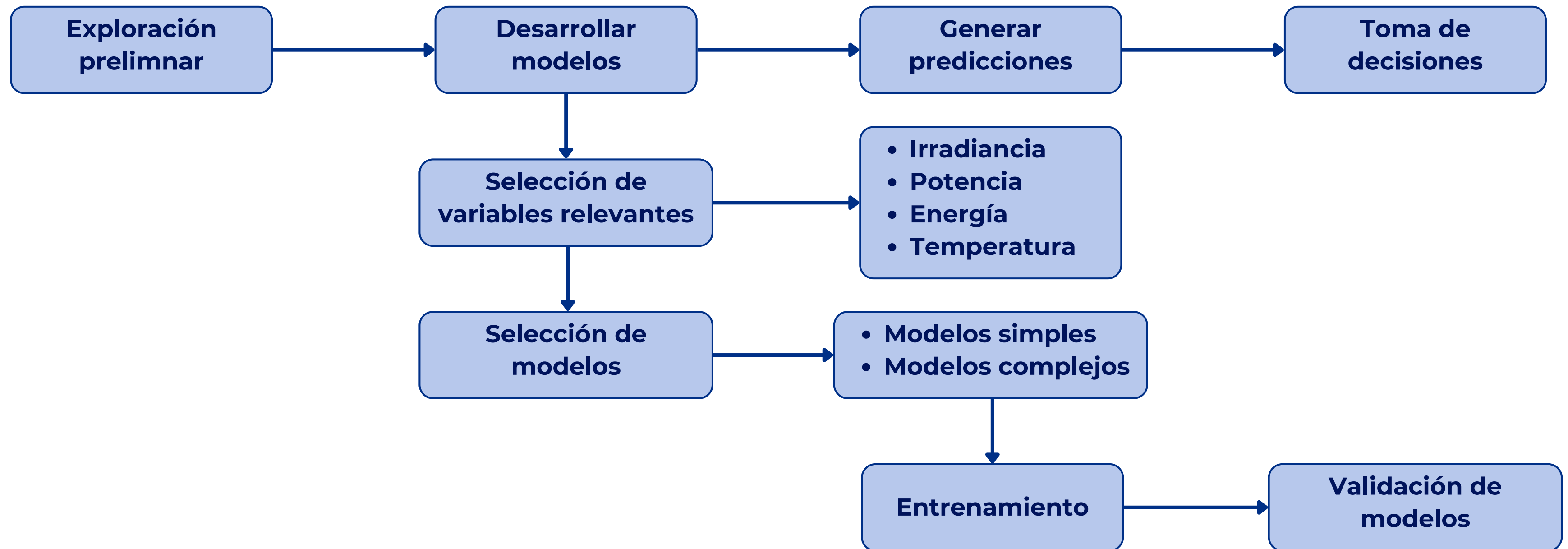


Visualización de Datos: Exploración Preliminar



- ¿Por qué visualizar los datos?
- ¿Con qué datos estamos trabajando?
- Tipo de gráficas (líneas, barras, histogramas)

Modelado de datos: Exploración, selección y predicción

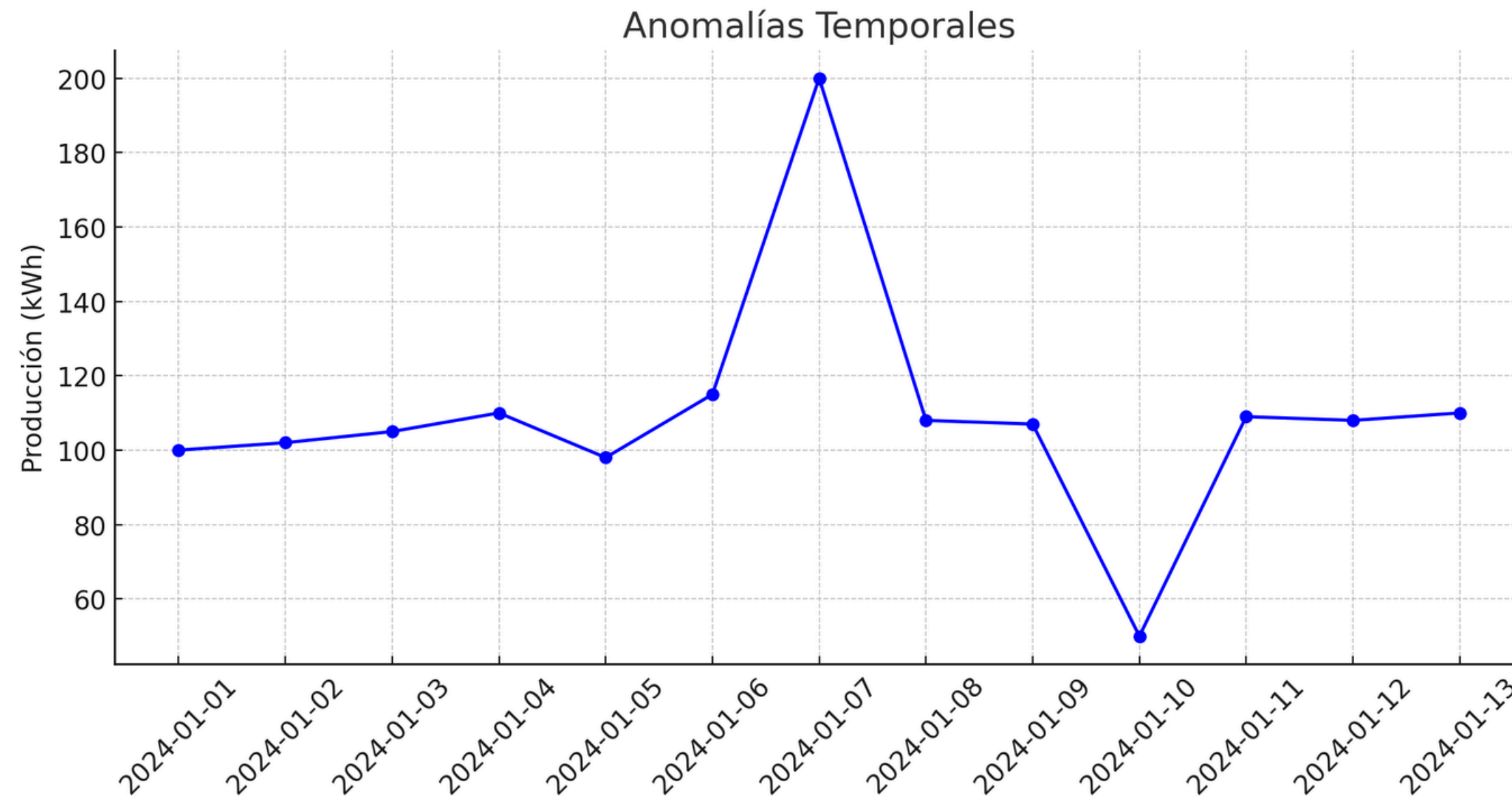


Detección de anomalías: Identificación de fallos y subrendimientos

Tipos de anomalías en SSFV:

Anomalías temporales:

Variaciones significativas en la producción de energía en comparación con días anteriores.

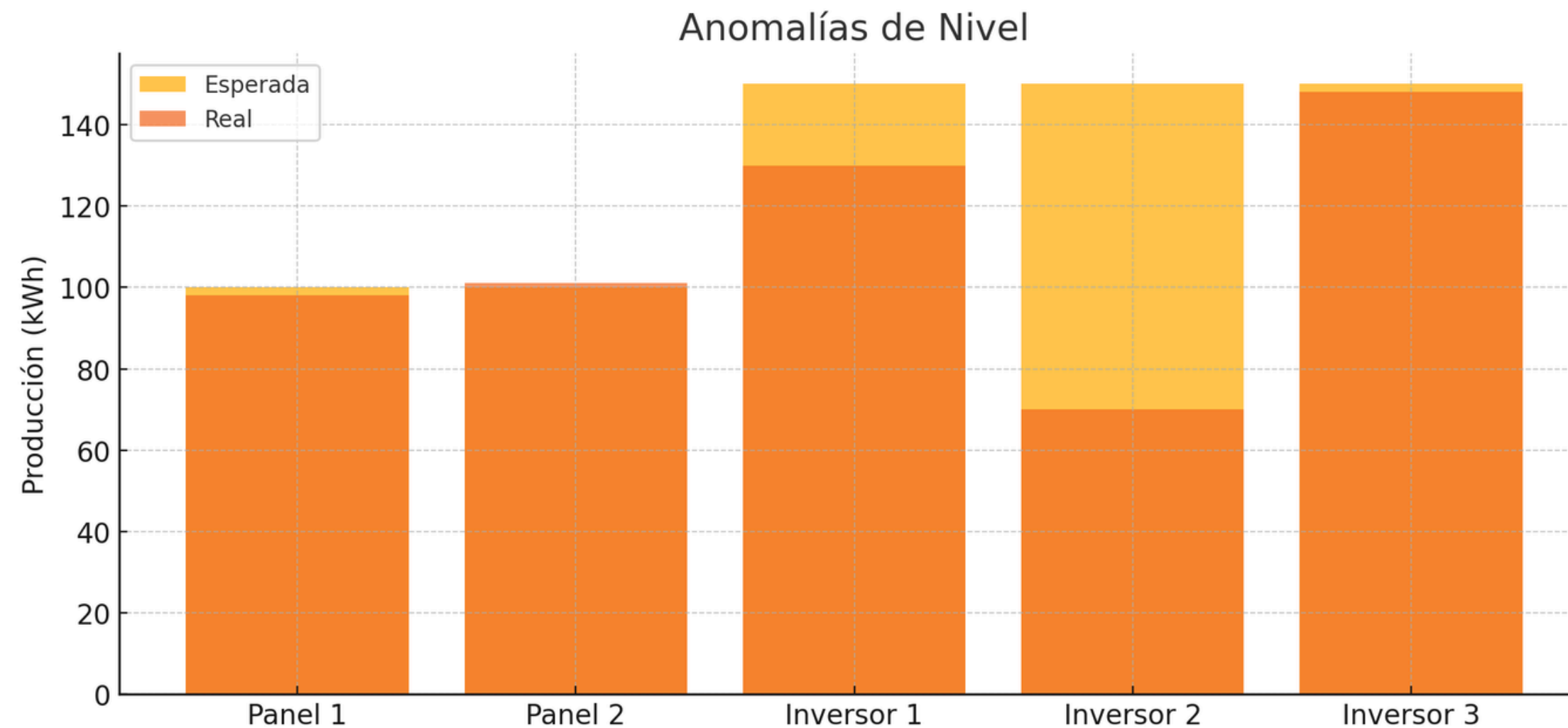


Detección de anomalías: Identificación de fallos y subrendimientos

Tipos de anomalías en SSFV:

Anomalías de nivel:

Desviaciones drásticas en la producción esperada, que pueden ser causadas por fallos en los inversores o problemas con los paneles.

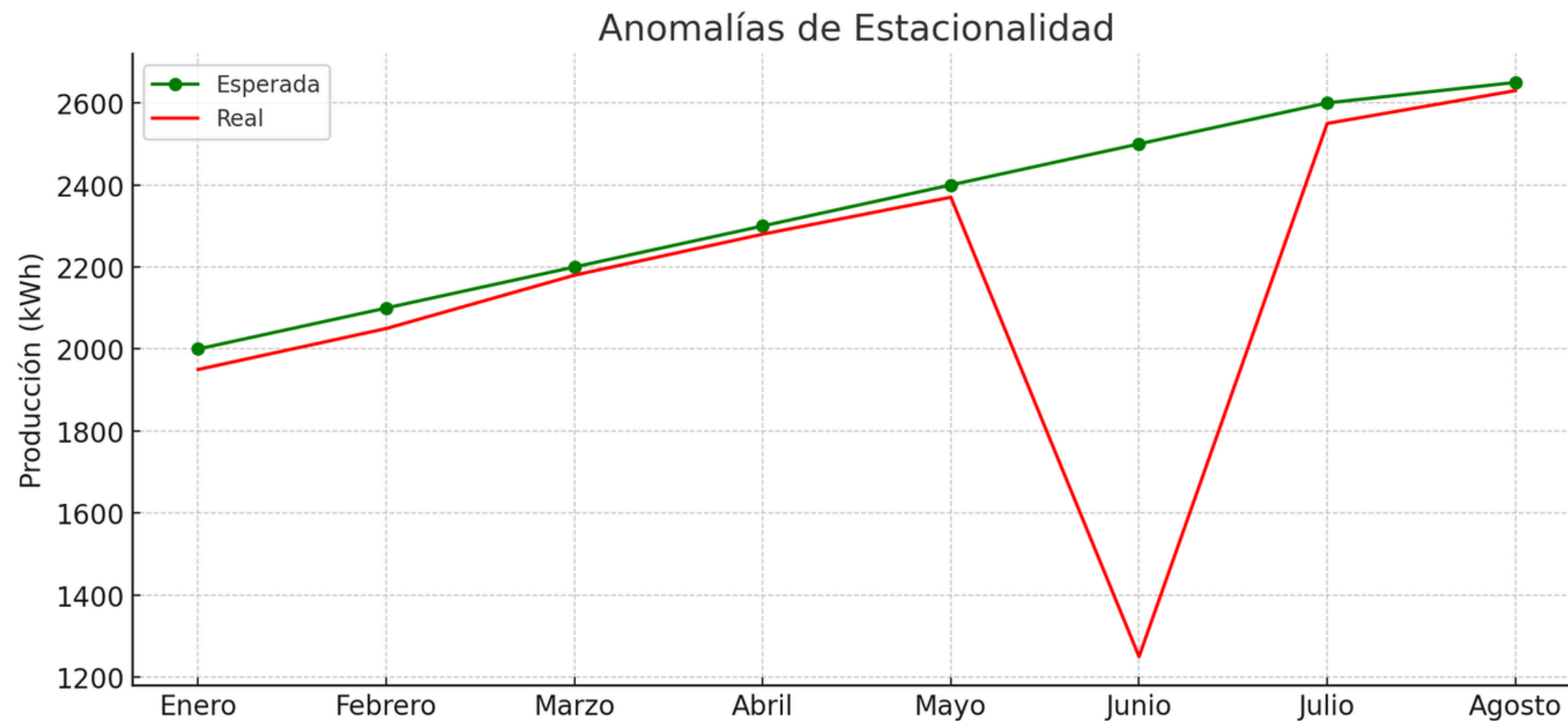


Detección de anomalías: Identificación de fallos y subrendimientos

Tipos de anomalías en SSFV:

Anomalías de estacionalidad:

Cambios inesperados en patrones estacionales, como una disminución en la producción durante un período de alta irradiancia.

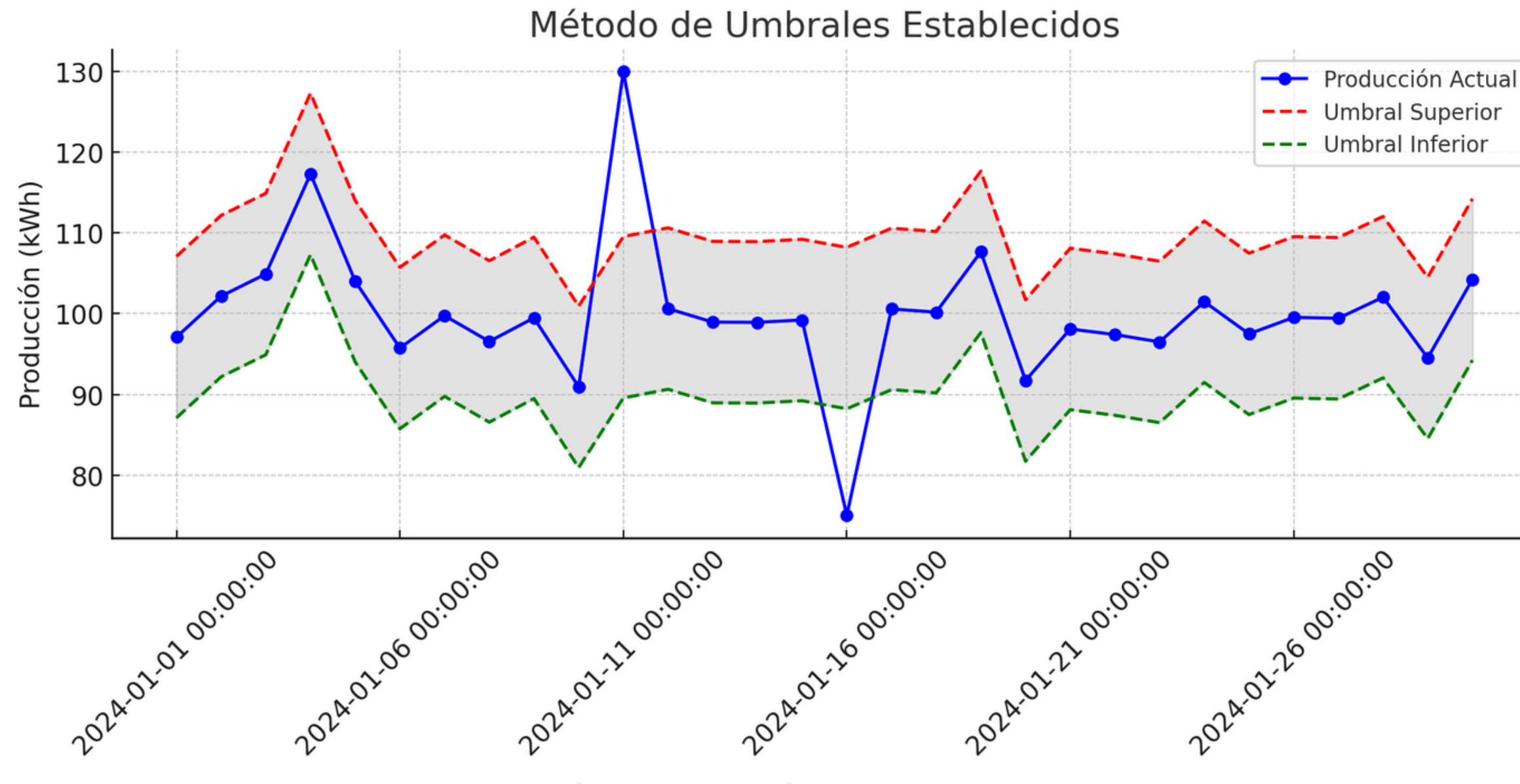


Detección de anomalías: Identificación de fallos y subrendimientos

Métodos de detección:

Umbrales Establecidos:

Comparación de la producción actual con umbrales predefinidos basados en datos históricos.

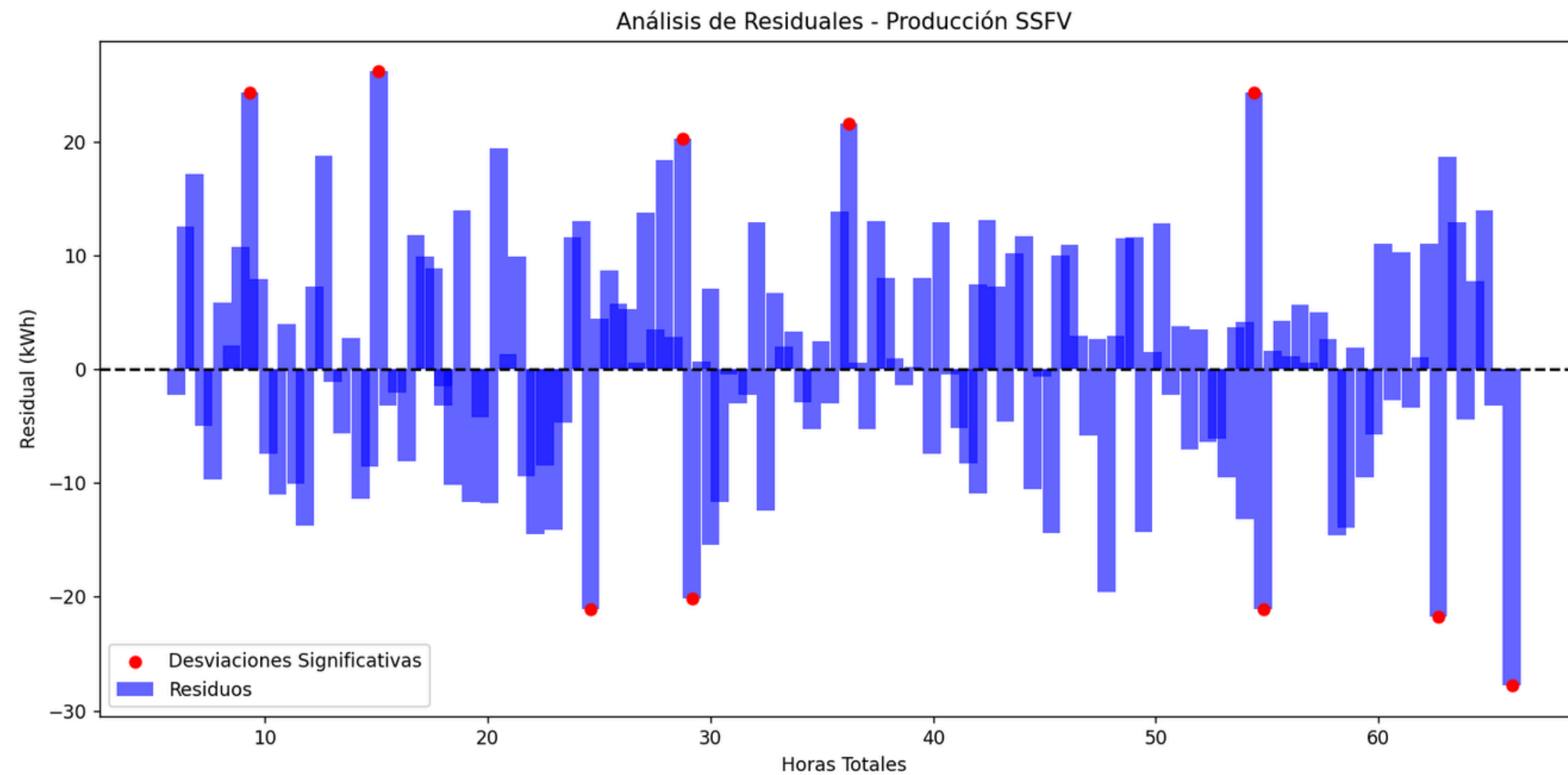


Detección de anomalías: Identificación de fallos y subrendimientos

Métodos de detección:

Análisis de Residuales:

Evaluar las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por un modelo, destacando las desviaciones significativas.

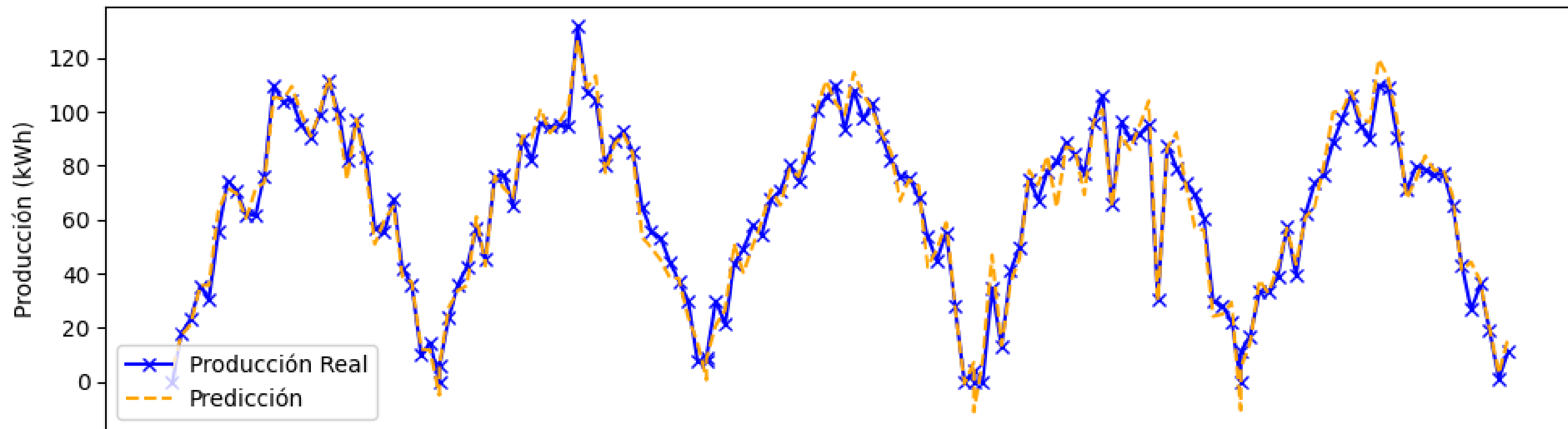


Detección de anomalías: Identificación de fallos y subrendimientos

Métodos de detección:

Modelos Predictivos:

Utilizar modelos como Prophet o ARIMA para predecir la producción y detectar cuando la producción real difiere significativamente de la predicción.

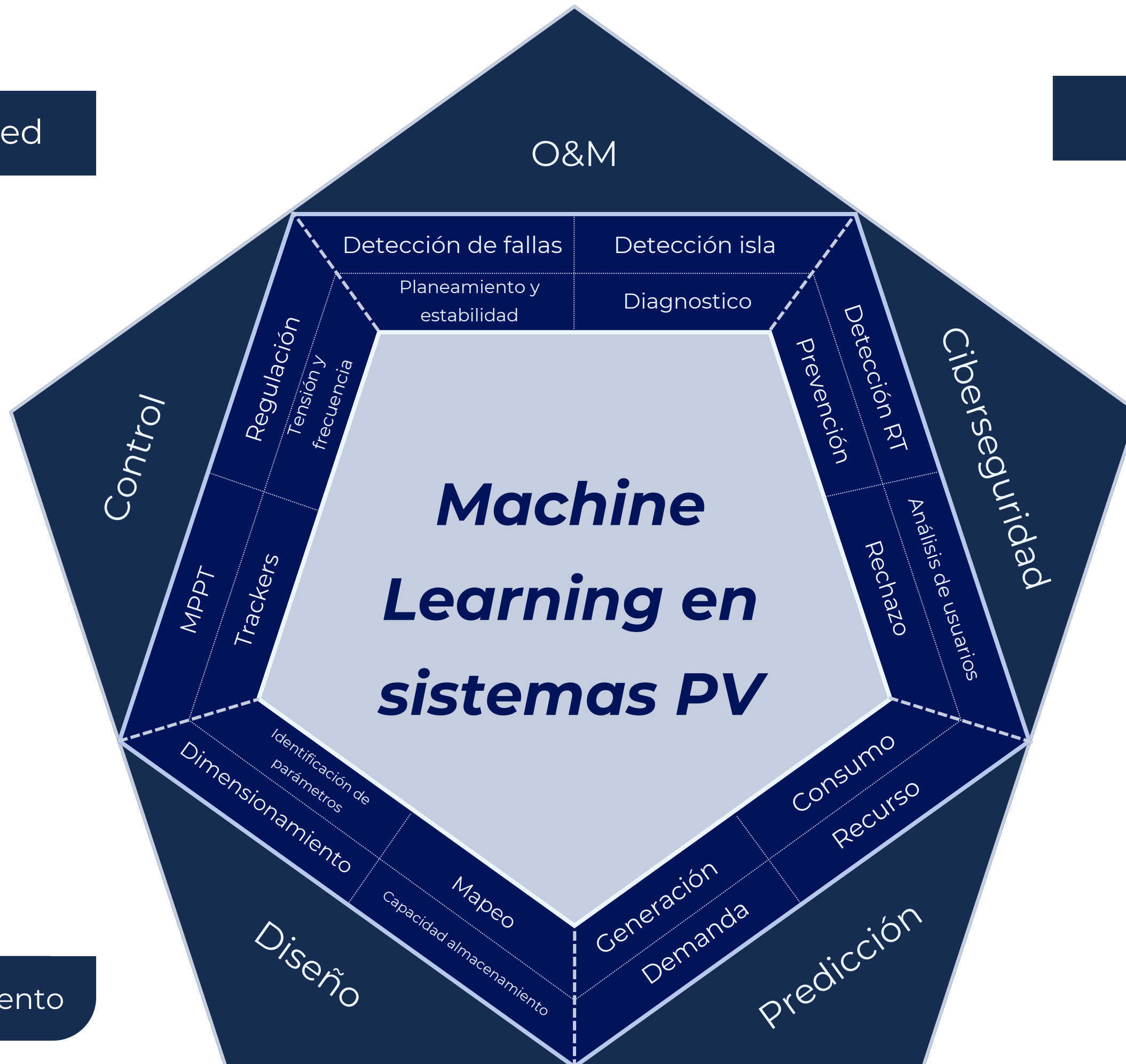


Machine Learning

¿Como tecnologías avanzadas como el **Análisis de datos** o el **Machine Learning** puede ayudar a afrontar esos retos?

Integración a la red

Eficiencia



Operación y mantenimiento

Machine Learning

Rama de la **inteligencia artificial** que se enfoca en desarrollar algoritmos que permiten a las computadoras aprender patrones y tomar decisiones basadas en datos, sin ser programadas explícitamente para tareas específicas

- Aprendizaje a través de los datos
- Realizar tareas complejas sin programación directa
- Ejemplos cotidianos
- Impacto y relevancia



Cualquier técnica que permita imitar el comportamiento humano



Inteligencia artificial

Machine Learning

Aprendizaje supervisado

Aprendizaje no supervisado

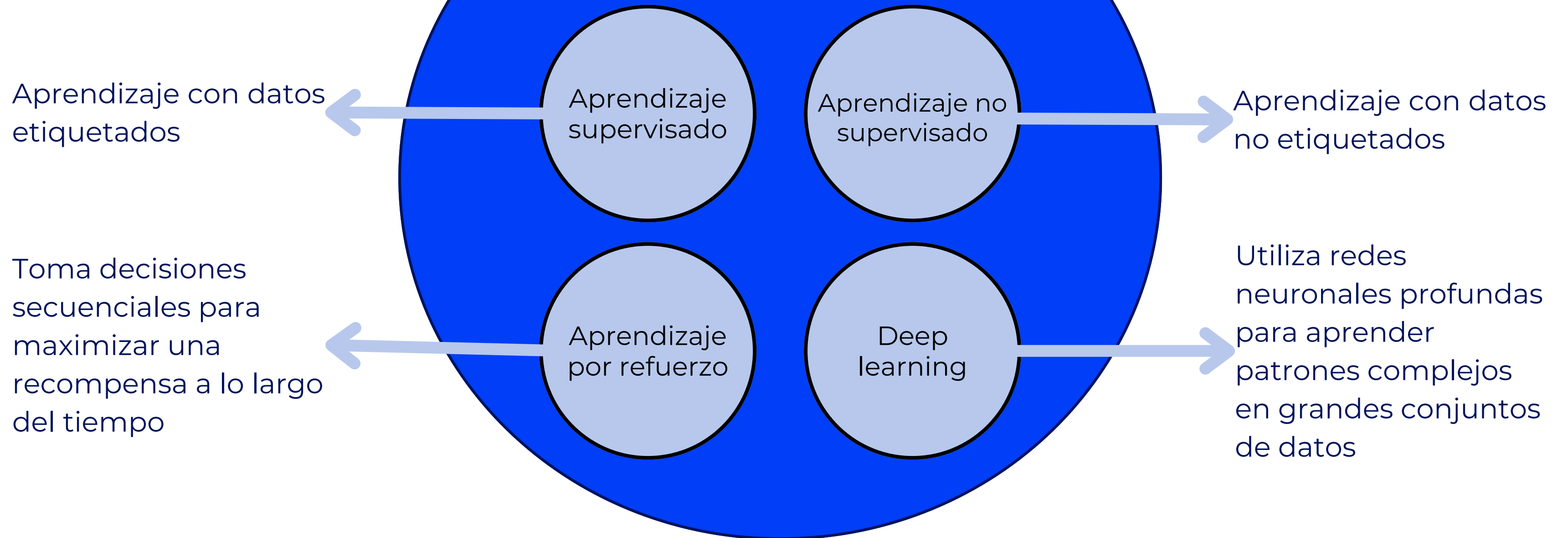
Aprendizaje por refuerzo

Deep learning

Rama de la IA que utiliza métodos estadísticos para tomar decisiones basadas en patrones de los datos



Machine Learning



Machine Learning en sistemas PV: Casos prácticos



MPPT



Problema

Condiciones meteorológicas cambiantes, lo que dificulta encontrar el punto de máxima potencia para maximizar la eficiencia energética. Las técnicas tradicionales de MPPT pueden no ser lo suficientemente precisas para seguir estas variaciones complejas



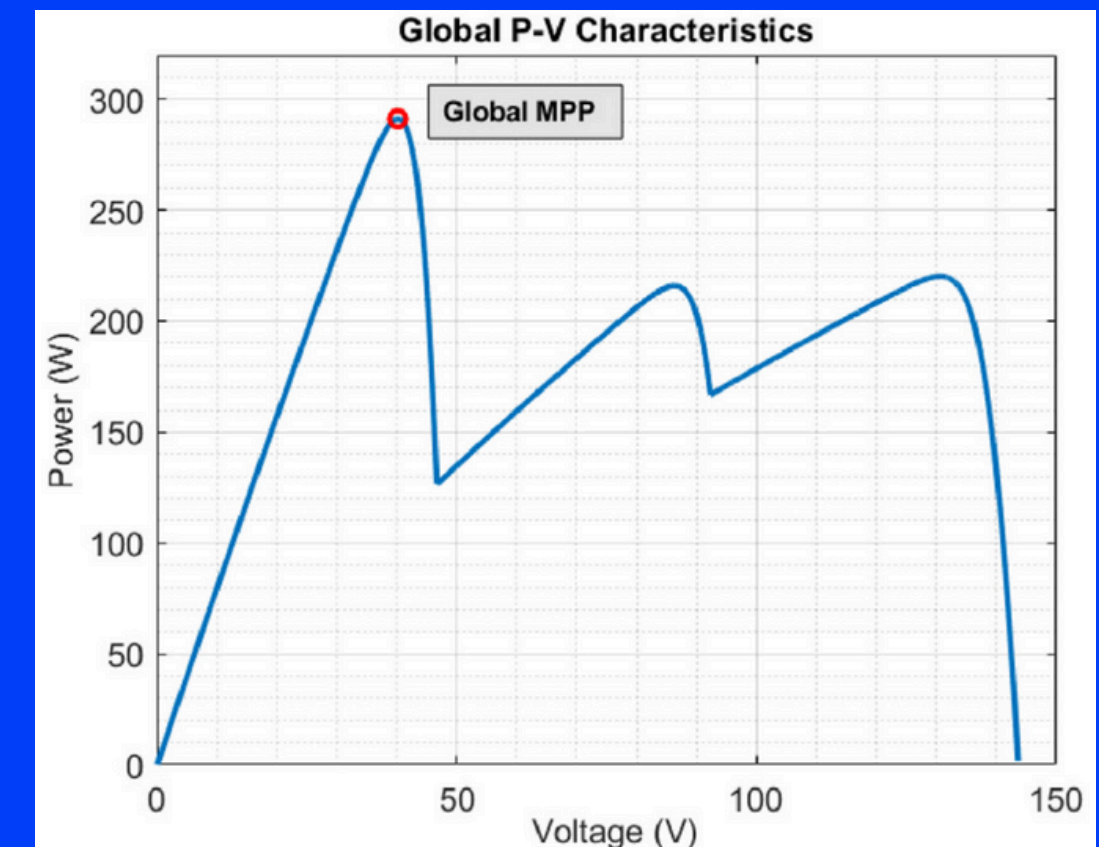
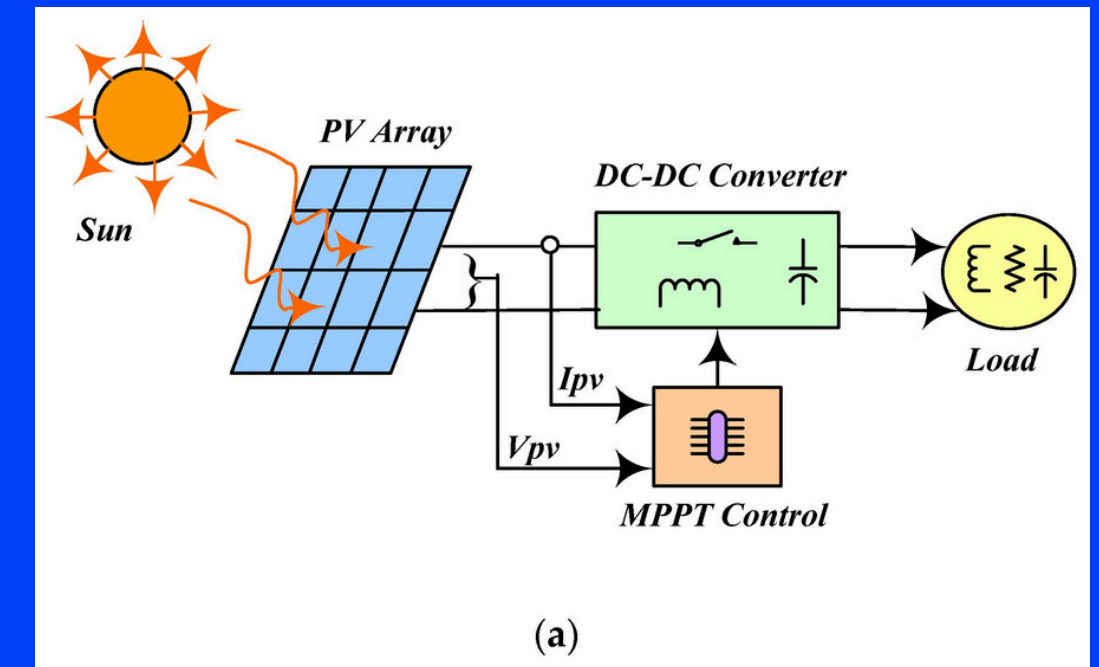
Solución propuesta

Redes Neuronales con entradas: derivadas de potencia y voltaje del arreglo solar, y salida el ciclo de trabajo óptimo en tiempo real, adaptándose a las variaciones complejas y optimizando la producción de energía.



Ventajas

- **Precisión:** Adaptación dinámica a condiciones variables para una maximización continua del rendimiento.
- **Eficiencia:** Mejora significativa en la eficiencia del sistema, especialmente en condiciones fluctuantes.
- **Flexibilidad:** Capacidad para abordar variaciones complejas y seguir el MPP de manera óptima.



S. Messalti, A. G. Harrag and A. E. Loukriz, "A new neural networks MPPT controller for PV systems," IREC2015 The Sixth International Renewable Energy Congress, Sousse, Tunisia, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/IREC.2015.7110907.

Control V y F



Problema

La variabilidad en la producción de energía solar puede causar fluctuaciones en el voltaje y la frecuencia, lo que puede afectar la estabilidad de la red eléctrica



Solución propuesta

Implementación de un algoritmo basado en Deep Reinforcement Learning (DRL) que coordina múltiples Inversores Fotovoltaicos (SIs) en tiempo real. El DRL aprende dinámicamente cómo ajustar la potencia reactiva de los SIs para mantener el voltaje dentro de los límites operativos, optimizando así el rendimiento de la red.



Ventajas

- **Optimización** : Coordinación de los inversores de manera más precisa y dinámica, asegurando un voltaje estable.
- **Reducción del Curtailment**: Minimiza la limitación de producción de energía solar, aprovechando al máximo el potencial del sistema fotovoltaico.
- **Menores Pérdidas del Sistema**: mejora de la eficiencia global del sistema en comparación con métodos tradicionales.

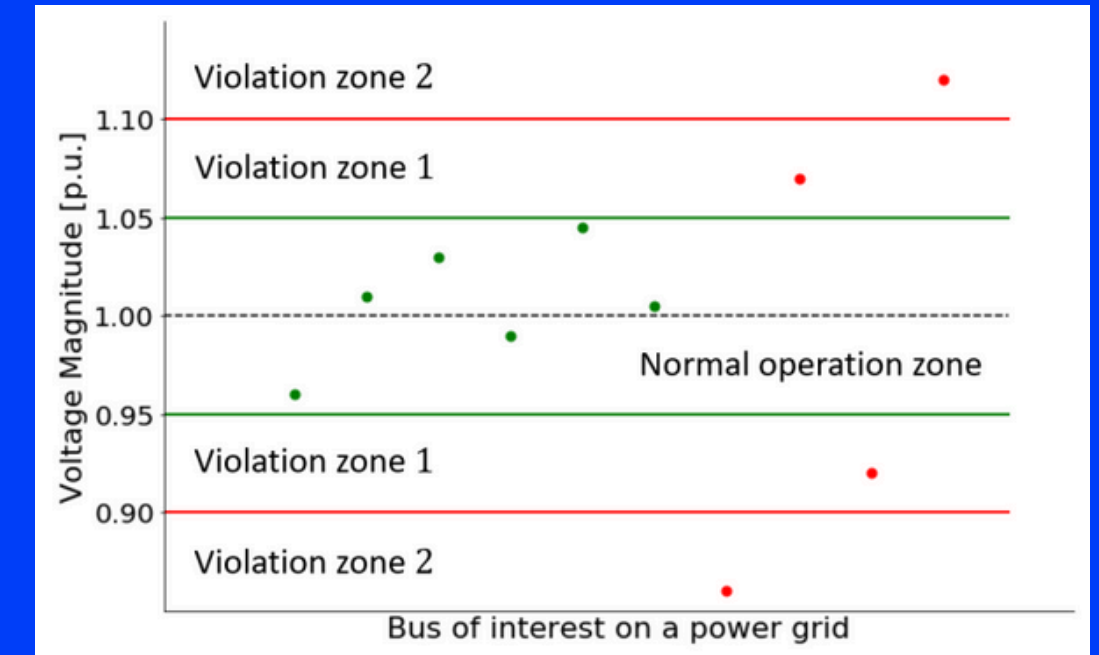


Fig. 5. Voltage profile zone definition.

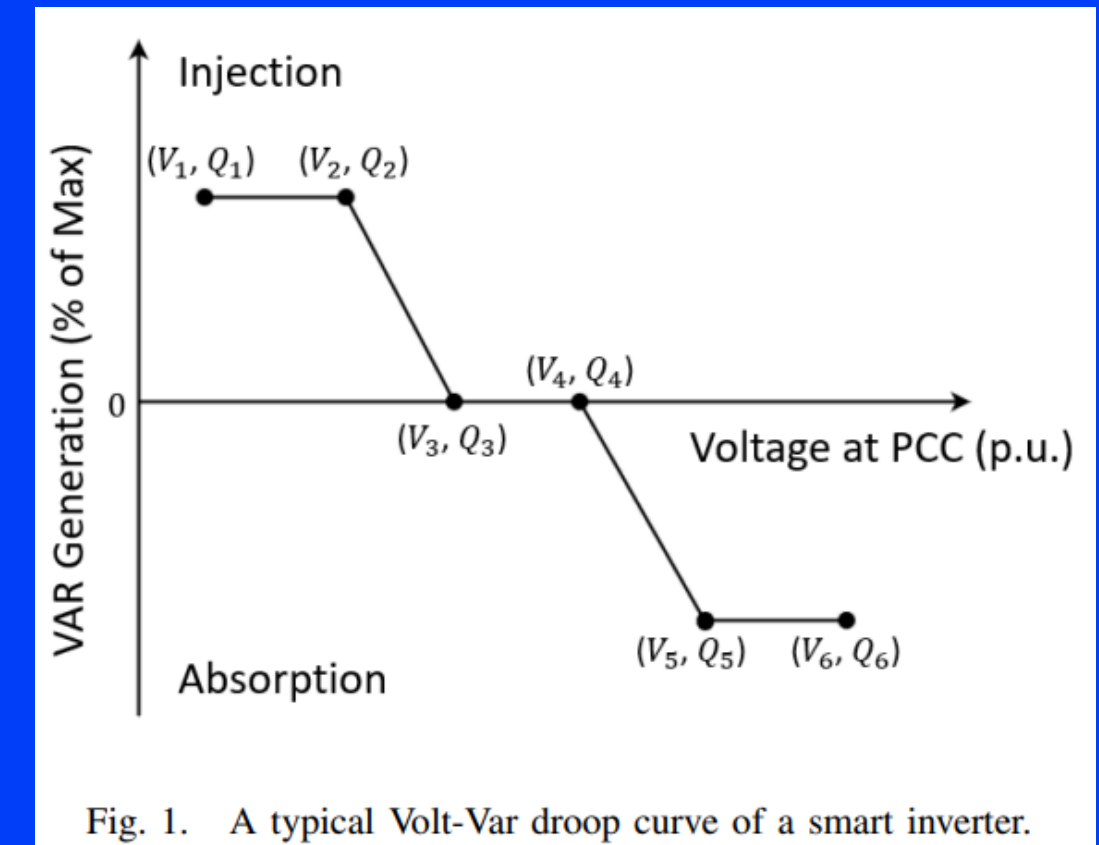


Fig. 1. A typical Volt-Var droop curve of a smart inverter.

Detección de fallas



Problema

Las fallas en los componentes de los sistemas fotovoltaicos, como paneles solares o inversores, pueden ocurrir debido al desgaste, condiciones climáticas extremas o defectos de fabricación



Solución propuesta

Automatizar la extracción de características a partir de datos crudos. Utiliza redes LSTM y DL, para extraer características automáticamente. Estas características se alimentan a un clasificador. La técnica ofrece alta precisión en el diagnóstico de fallas tanto en datos ruidosos como en datos sin ruido.



Ventajas

- **Automatización:** Extracción automática de características desde datos crudos, ahorrando tiempo y recursos.
- **Precisión:** Alta precisión en el diagnóstico de fallas incluso en presencia de ruido en los datos.
- **Eficiencia:** Elimina la necesidad de la extracción manual de características, reduciendo costos y demanda de expertos en diagnóstico.

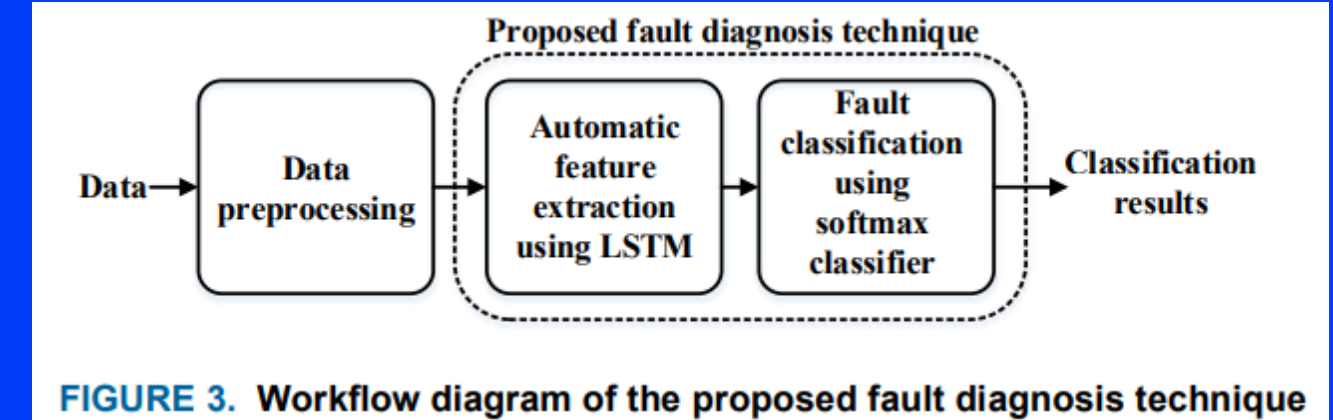


FIGURE 3. Workflow diagram of the proposed fault diagnosis technique

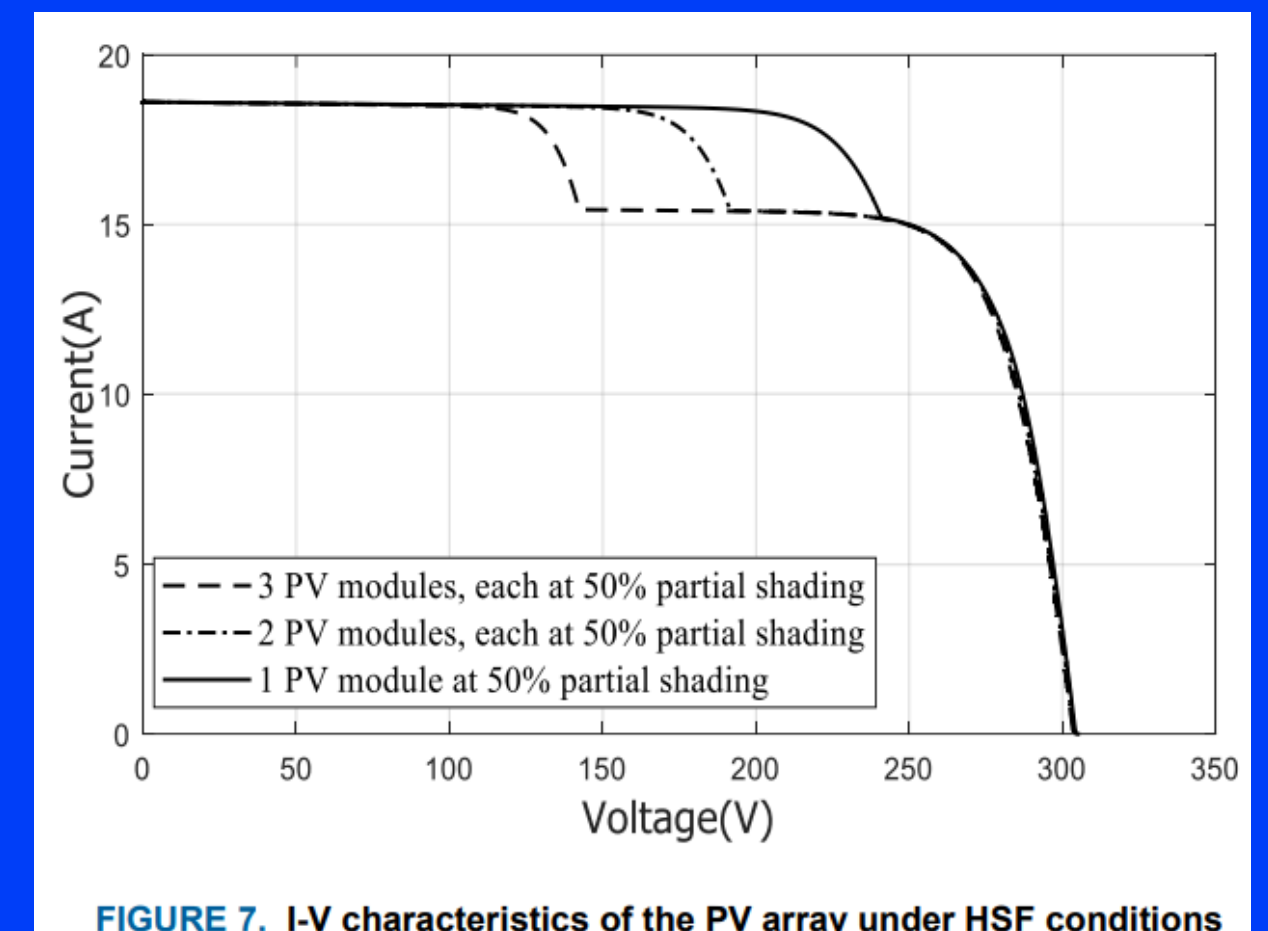


FIGURE 7. I-V characteristics of the PV array under HSF conditions

Diagnóstico



Problema

Detectar fallas físicas en paneles conlleva a dificultades en la identificación precisa de fallas, especialmente aquellas como grietas, sombras y polvo que son difíciles de detectar visualmente.



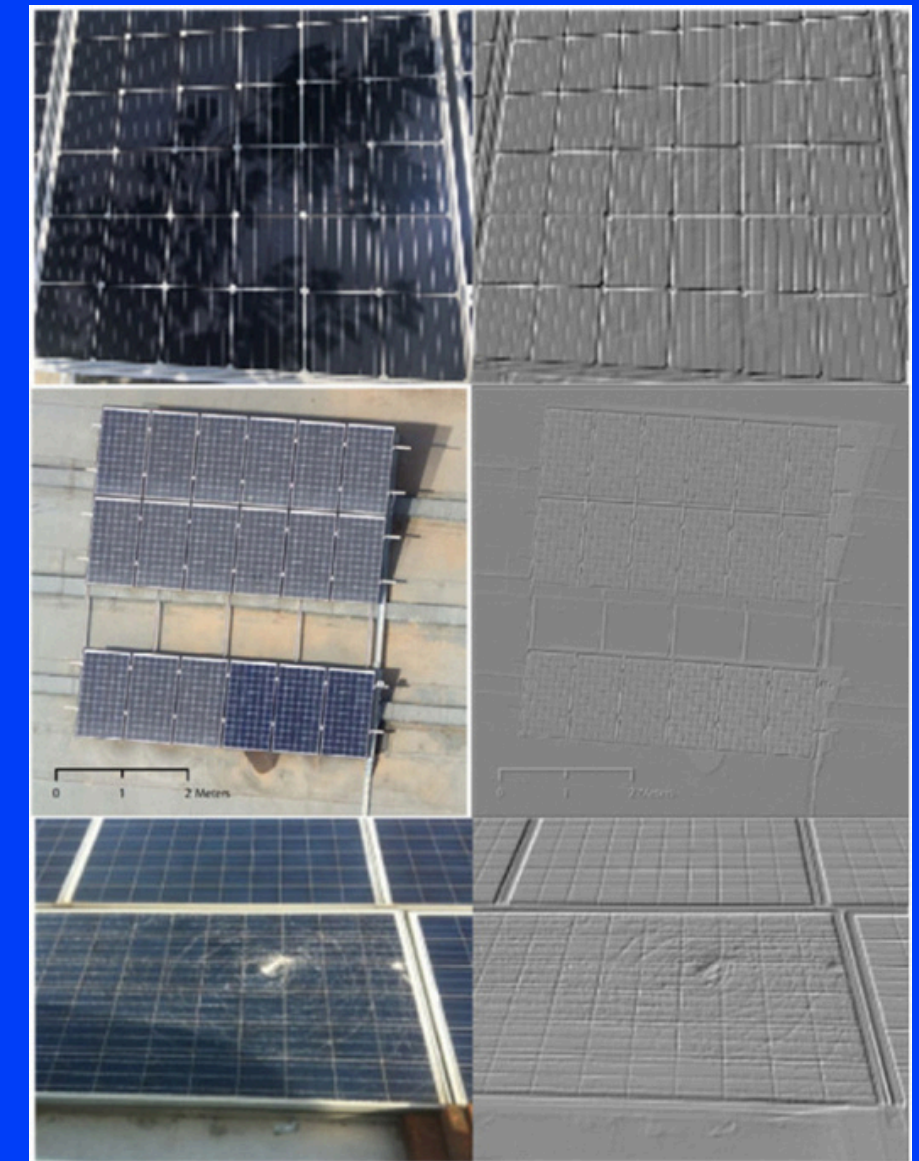
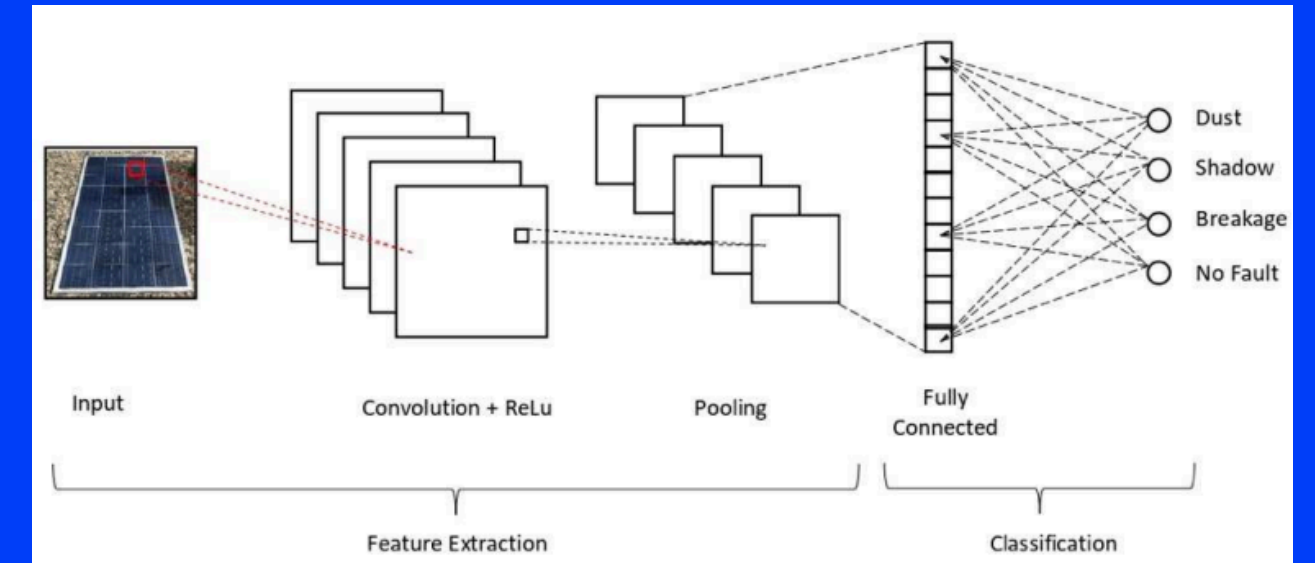
Solución propuesta

Clasificación automática de fallas físicas para plantas PV utilizando CNN para segmentación semántica y clasificación a partir de imágenes RGB. Clasificar imágenes en categorías específicas como falla y sin falla, o incluso identificar categorías más detalladas como sin falla, grietas, sombras y polvo.



Ventajas

- **Precisión:** clasificación precisa de fallas en sistemas PV.
- **Automatización:** elimina la necesidad de análisis manual y subjetivo.
- **Identificación Detallada:** Puede identificar fallas detalladas como grietas, sombras y polvo, lo que es crucial para el mantenimiento preventivo.



Islanding



Problema

Detectar islanding en sistemas PV es crucial para evitar situaciones peligrosas y para mantener la seguridad de la red, pero es un desafío identificar estas condiciones en tiempo real, especialmente en situaciones cambiantes y complejas.



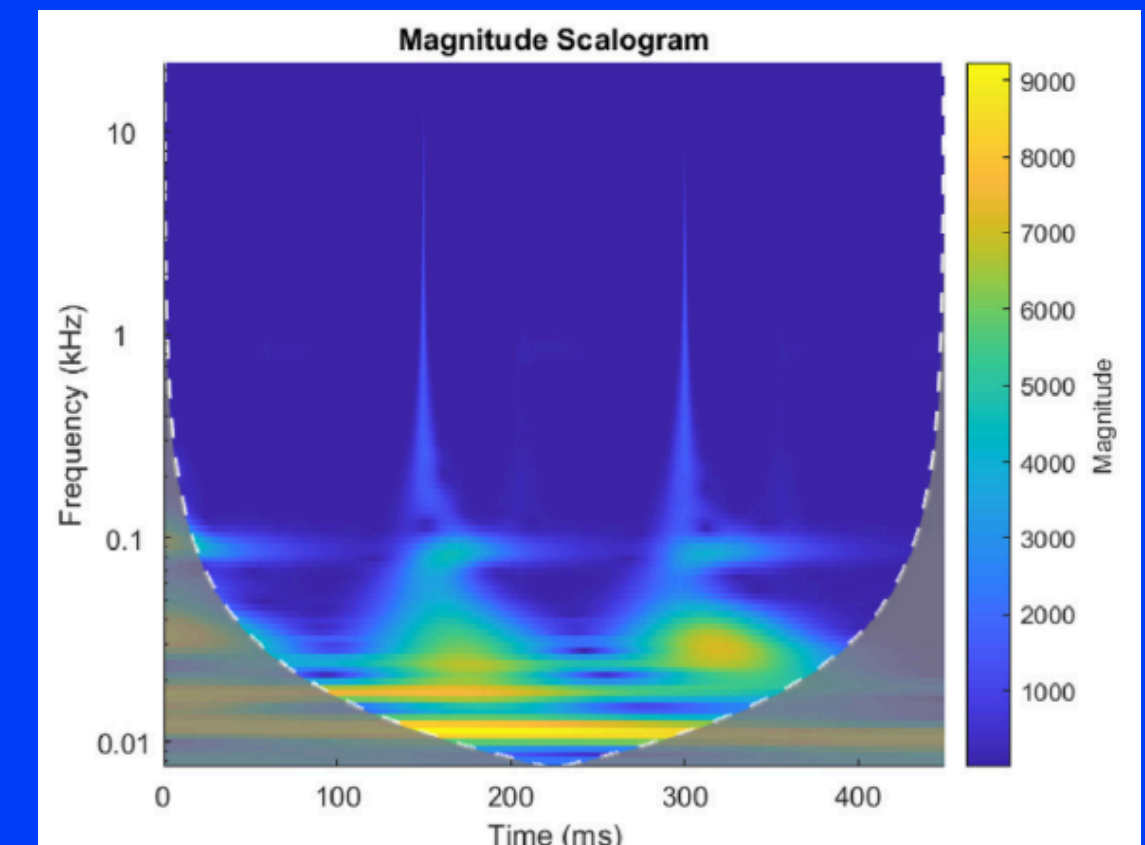
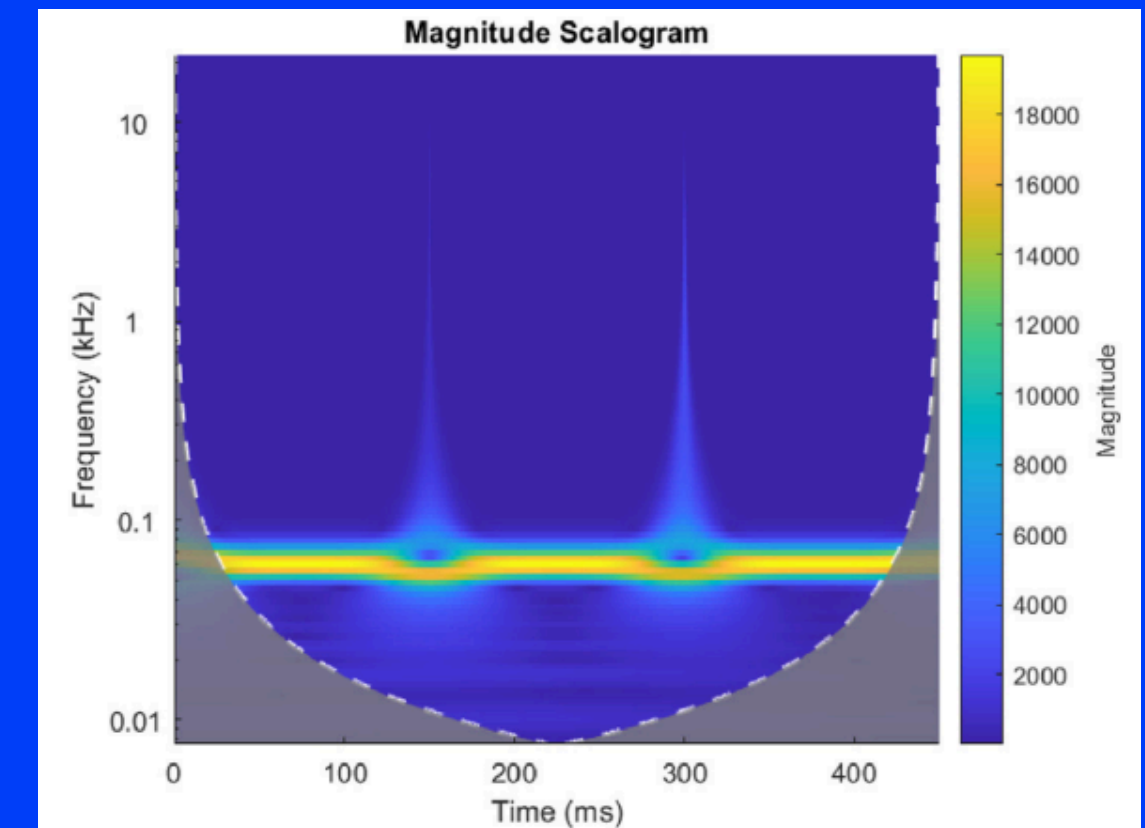
Solución propuesta

Utilizar CNN entrenada con imágenes generadas a partir de datos de voltaje específicos. Estas imágenes se crearon utilizando la transformada de ondículas (wavelet) y se utilizaron para entrenar la CNN para identificar condiciones de islas eléctricas.



Ventajas

- **Mayor Precisión:** Alcanza un gran nivel de precisión, lo que mejora significativamente la confiabilidad en la detección.
- **Automatización y Eficiencia:** Al automatizar el proceso de detección con imágenes, se reduce la dependencia de expertos humanos, lo que ahorra tiempo y recursos.



Predicción de datos



Problema

La gestión óptima de sistemas PV requiere datos de calidad para construir modelos precisos que predigan el comportamiento. Las mediciones solares satelitales tienen alta resolución temporal pero limitada resolución espacial, y las mediciones in situ son altamente precisas pero a menudo tienen datos faltantes.



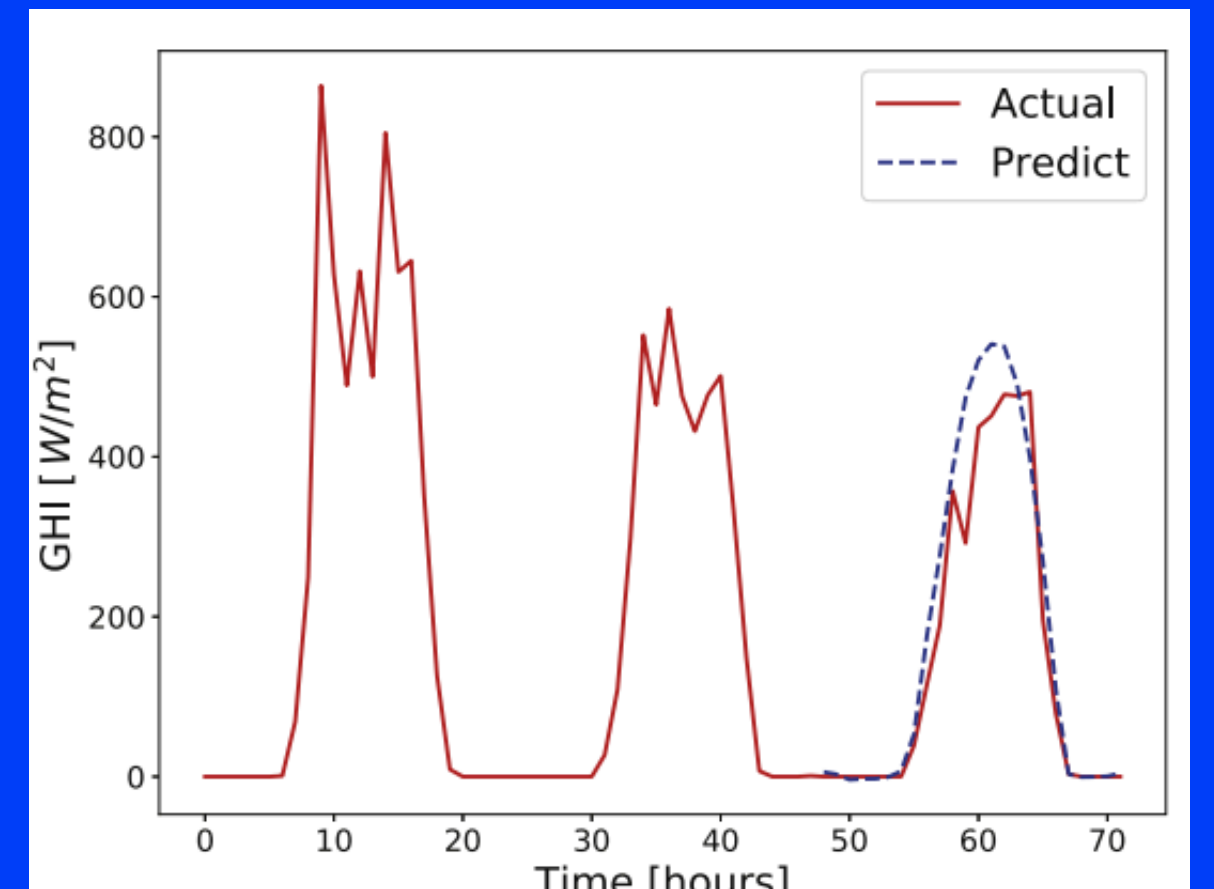
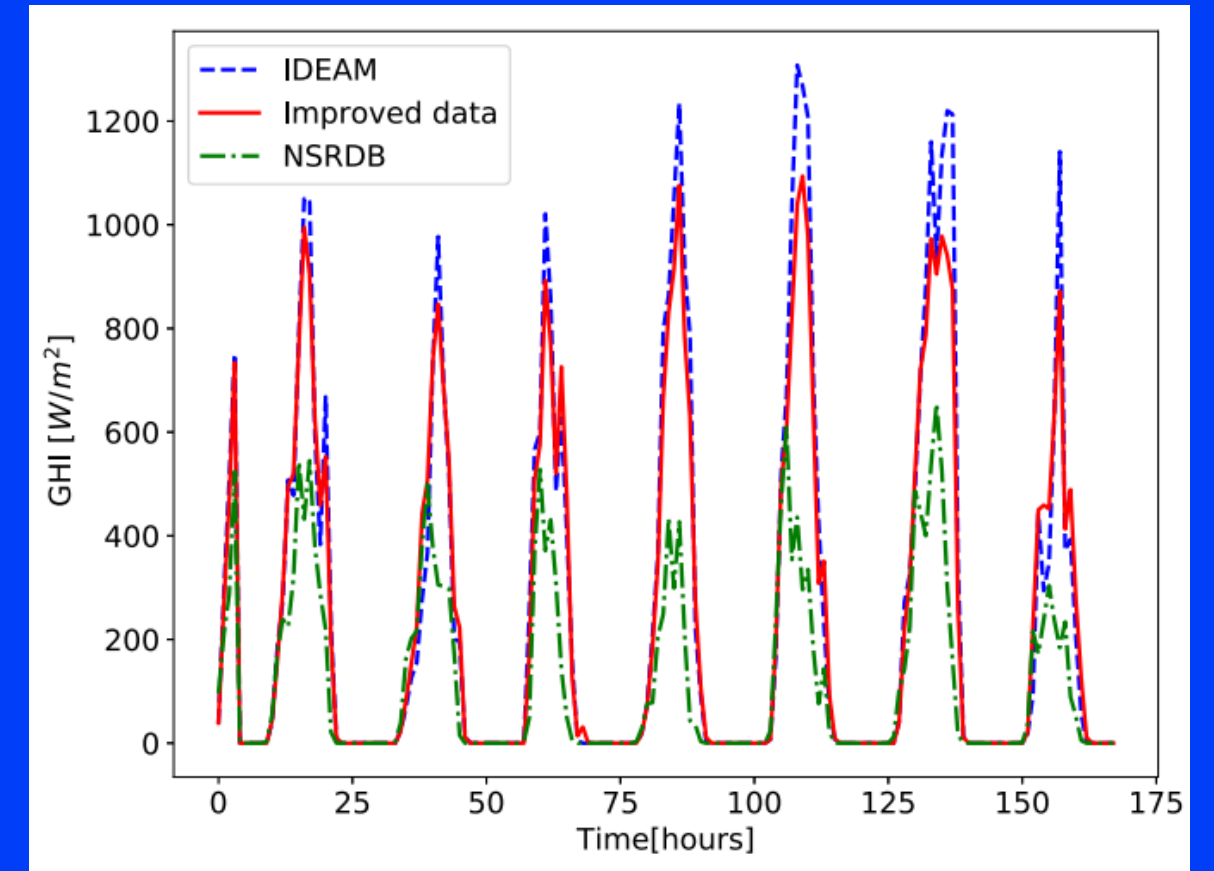
Solución propuesta

integrar datos de fuentes satelitales e in situ para mejorar tanto la resolución espacial como temporal, conocida como "site-adaptation" a través de técnicas de DL para construir modelos de predicción precisos basados en datos mejorados prediciendo la radiación solar.



Ventajas

- **Mejora de Resolución:** temporal y espacial, optimizando la precisión de los modelos de predicción.
- **Integración de Datos:** integración eficiente de datos satelitales e in situ.
- **Alto Rendimiento:** superan hasta en un 38% a los métodos tradicionales, asegurando predicciones más precisas y fiables.



¿Que sigue para la IA?

**Modelos
Generativos
Especializados**

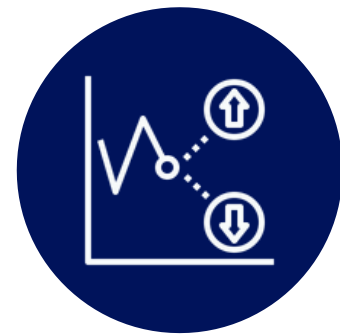
Gemelos Digitales

AutoML

Edge Computing

Explainable AI, XAI

¿Que sigue para **Axon Group**?



Predicción de datos

Predicción del recurso y de generación de acuerdo al comportamiento de cada planta con datos históricos



Detección de fallas

Mejorar la eficiencia y optimizar la operación a través de mantenimiento preventivo y predictivo



Practica análisis de datos en SSFV



Practica análisis de datos en SSFV



Axon1234



Sigue nuestras redes



@AxonGroupOficial



Axon Group LTDA



Axon Group LTDA



@AxonGroup.ltda



Gracias

¿Preguntas?

Contacto: juan.urbano@axongroup.com.co

Wpp: +57 3017546849

