X CONGRESO INTERNACIONAL | SISTEMAS BESS Y MINIGRANJAS SOLARES

10 ANIVERSARIO ExpoSolar® Colombia 2026
Energía renovable, futuro imparable

BESS: Tecnologias, aplicaciones y lecciones aprendidas de proyectos globales

29 Octubre

16:30
17:30

Daniel Martinez, PhD

Principal BESS consultant a RINA Consulting
Francia



Hacemos parte de econexia ECOSISTEMA DIGITAL DE CONEXIONES & NEGOCIOS operado por corferias

Organiza
Centro de Ciencia y Sensibilización Ambiental
corferias Generadores de Oportunidades y Progreso
Empresa B Certificada

RINA

X CONGRESO INTERNACIONAL | SISTEMAS BESS Y MINIGRANJAS SOLARES

10 Aniversario ExpoSolar Colombia 2026



Daniel Martinez, PhD

Consultor principal en almacememiento de energía (BESS) — RINA Consulting

Francia | www.linkedin.com/in/da-martinez

- Experiencia en BESS
- Análisis técnico-económico
- Estrategia y regulación
- Proyectos globales

Áreas de especialización

- Solar PV + BESS
- Modelado y optimización
- Aspectos regulatorios
- Estructuración de proyectos
- Transición energética

Experiencia internacional



- +10 países
- +20 proyectos BESS
- Trabajo con econoveses, EPC, bancos e inversores

Hacemos parte de econexia

Organiza: Centro de Ciencia y Sensibilización Ambiental | corferias

Colombia 2026: de la regulación a la contratación PV + BESS

Abril 2026

Decreto 0393

Marco general para SAE



Reconoce aplicaciones del almacenamiento y habilita desarrollos regulatorios posteriores.

Abril 2026

Resolución MME 40208

Contratación de energía limpia



Introduce productos compatibles con renovables + almacenamiento y contratación por bloques horarios.

Junio 2026

Resolución CREG 101 113

Conexión y operación SAEB



Regula la conexión y operación de SAEB en el SIN y distingue sus modalidades.

- SAEB independiente
- Activos de red
- Recursos híbridos

Julio 2026

Subasta de energía limpia

Producto 3 para proyentos híbridos



- ≈100 MW BESS
- 390 MWh/día contratados
- ≈270 MW solares

El almacenamiento comienza a formar parte de la contratación energética colombiana.

Adjudicación ≠ cierre financiero ni proyecto operativo

¿La regulación garantiza la rentabilidad de un BESS?



REGULADO ≠ REMUNERADO ≠ FINANCIABLE

¿Dónde genera valor un BESS?

CUÁNDO • PERFIL SOLAR + BESS (24 h)



CÓMO • FLUJOS FUNCIONALES PV + BESS



1 DESPLAZAR ENERGÍA



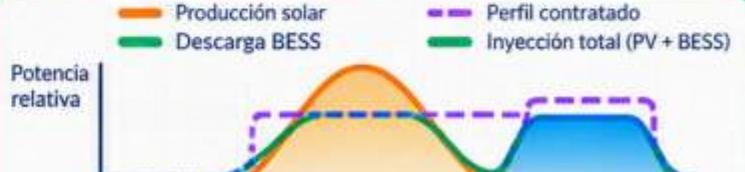
Del día a la tarde

2 APROVECHAR ENERGÍA LIMITADA



Según reglamentos, diseño de la instalación y capacidad del almacenamiento

3 ADAPTAR EL SUMINISTRO



¿Qué tecnología BESS elegir?

LFP — FOSFATO DE HIERRO Y LITIO



- Madurez comercial: **Muy alta**
- Aplicación orientativa: **2–4 h y superiores**
- Aspecto clave: **Degradación y seguridad térmica**

Na-ion — SODIO-ION



- Madurez comercial: **Emergente**
- Aplicación orientativa: **Según producto**
- Aspecto clave: **Garantías y madurez**

VRFB — FLUJO REDOX DE VANADIO



- Madurez comercial: **Comercial de nicho**
- Aplicación orientativa: **6–8 h+ y ciclaje intensivo**
- Aspecto clave: **Eficiencia y O&M hidráulico**

	LFP	Na-ion	VRFB
Madurez comercial	Muy alta	Emergente	Comercial de nicho
Ventana de aplicación	2–4 h y superiores	Corta / media (según producto)	6–8 h+ y ciclaje intensivo
Compromiso operativo	Degradación / refrigeración	Experiencia de campo / garantías	Auxiliares hidráulicos / mantenimiento
Evidencia contractual	Ecosistema consolidado	Validación de proveedor	Análisis específico de proyecto

1. **SERVICIO REQUERIDO** (Qué debe hacer el BESS?)
2. **DURACIÓN Y CICLAJE** (Cuántas horas? (Qué ciclo de vida?)
3. **PRESTACIONES Y GARANTÍAS** Eficiencia, degradación, soporte del proveedor
4. **SELECCIÓN TECNOLÓGICA** LFP | Na-ion | VRFB

El servicio define la tecnología

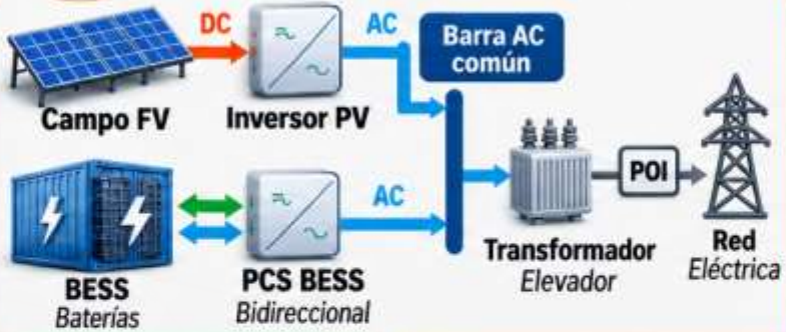
BESS: ¿cómo integrarlo con una planta solar?

STAND-ALONE
BESS independiente



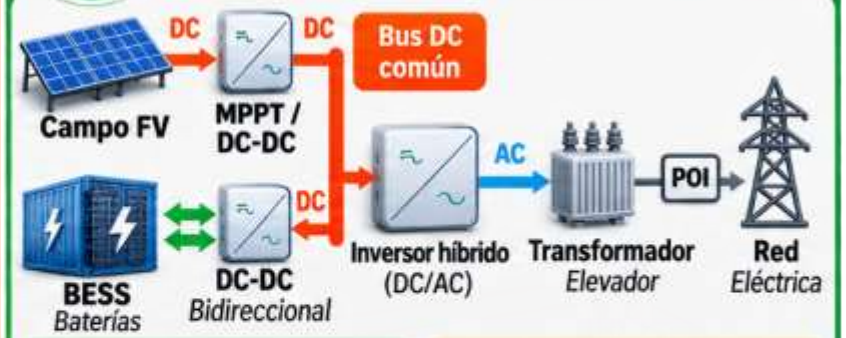
- **Conexión independiente** PCS propio
- Importación / exportación sujeta a condiciones regulatorias (CREG 101 113)

AC-COUPLED
Solar PV + BESS (acoplamiento en AC)



- **Convertidores separados** (PV y BESS) Integración favorable para retrofit
- No recupera directamente energía limitada por el inversor PV (depende de la configuración)

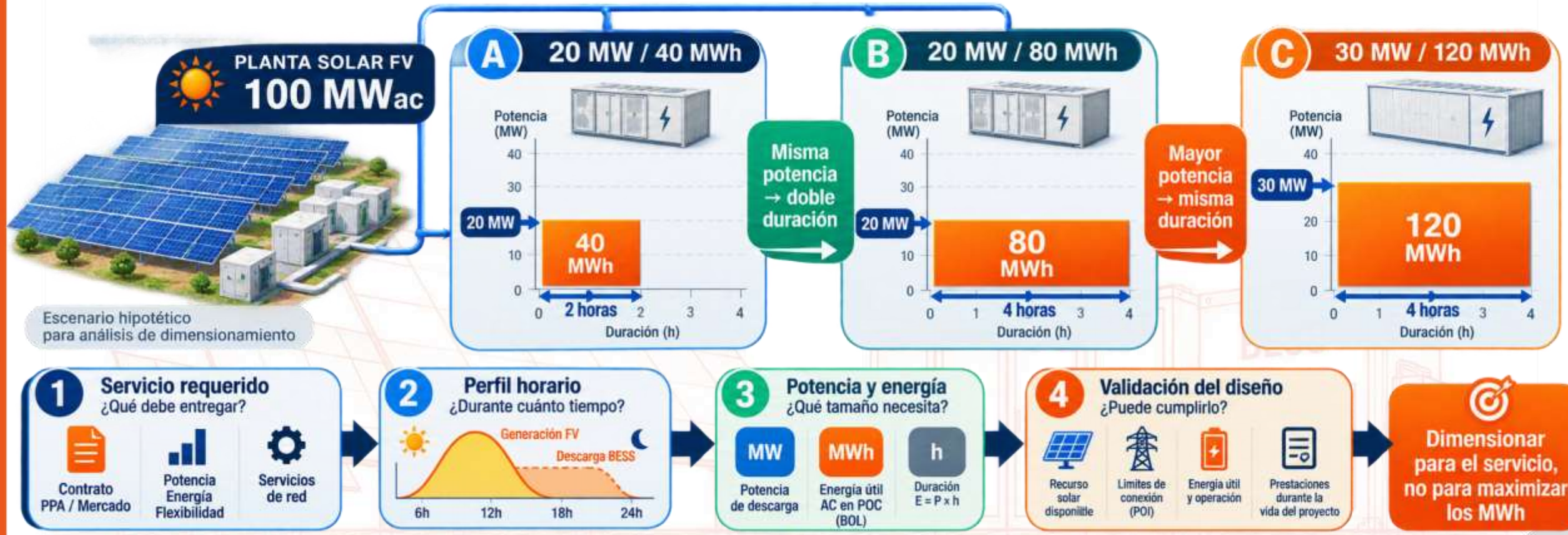
DC-COUPLED
Solar PV + BESS (acoplamiento en DC)



- **Bus DC compartido Potencial de captura de clipping** (según diseño)
- Potencia limitada por el inversor compartido **Mayor coordinación de controles y equipos compatibles**

	STAND-ALONE	AC-COUPLED	DC-COUPLED
Equipos de conversión	PCS propio + transformador	Inversor PV y PCS separados	Bus DC + inversor AC compartido (según diseño)
Integración / retrofit	Conexión independiente	Frecuentemente favorable para retrofit	Integración dependiente del diseño FV, inversor y controles
Aprovechamiento de energía limitada	No incorpora recuperación de clipping PV	Recuperación condicionada por el punto donde se limita la energía	Potencial de captura en lado DC bajo condiciones de diseño adecuadas

Dimensionamiento BESS: MW ≠ MWh



¿Puede un BESS monetizar todos sus servicios?

1 CAPACIDAD TÉCNICA
¿Puede hacerlo?

BESS + PCS + EMS



- Desplazamiento de energía
- Respuesta rápida de potencia
- Soporte de tensión / potencia reactiva
- Seguimiento de consignas / perfiles

2 HABILITACIÓN
¿Está permitido?

REGULACIÓN

- Modalidad del SAEB
- Requisitos de conexión
- Habilitación operativa
- Condiciones de participación
- Restricciones de carga y operación



3 MECANISMO COMERCIAL
¿Cómo se comercializa?

- Mercado de energía (spots / contratos)
- Servicios complementarios (regulación, reserva, etc.)
- Contratos bilaterales (PPA, firmas, capacidades)
- Mecanismos específicos (subastas / convocatorias)



4 REMUNERACIÓN
¿Genera ingresos?

Medición	Liquidación	Pago
Energía	Reglas de mercado	Según contrato
Potencia	Verificación	Plazos
Servicios	Cálculo	Garantías
Cumplimiento	Ajustes	Riesgo de no pago

Ejemplos de aplicaciones

A Desplazamiento de energía solar



B Servicios de respuesta rápida y soporte eléctrico



C BESS independiente conectado a red



≠ Servicio técnicamente posible ≠ ingreso garantizado

Eficiencia BESS: impacto en la energía solar

¿Cuánta energía solar necesitamos para entregar 400 MWh?



Degradación y aumentación del BESS

¿Por qué se degrada?

Envejecimiento por calendario

TIEMPO | Temperatura · SOC

Envejecimiento por ciclos

UTILIZACIÓN | Ciclos · DoD · C-rate

Evolución de la energía útil del BESS

Escenario ilustrativo · 30 MW / 120 MWh útiles AC netos al POC · Hipótesis de modelación



Evento de aumentación



+16 MWh útiles

Nuevos módulos / racks

Integración eléctrica y control



No recupera los 120 MWh



Sobredimensionamiento



Reserva inicial

Operación optimizada



SOC · Temperatura
Ciclos

Aumentación planificada



Capacidad adicional

Diseñar para el final de vida, no solo para el inicio

Seguridad BESS: fuga térmica y deflagración



PREVENCIÓN — BMS y control térmico → **DETECCIÓN** — Temperatura y gases → **MITIGACIÓN** — Seccionamiento y barreras → **RESPUESTA** — Información y procedimientos

La seguridad requiere múltiples barreras

Seguridad BESS por diseño



VICTORIAN BIG BATTERY AUSTRALIA · 2021



2 MEGAPACKS destruidos

- Telemetria / SCADA no disponible
- Refrigeración apagada
- Protecciones inactivas (off-line)

Protecciones activas en commissioning y off-line.

COLOMBIA · RETIE 2026



Res. 40284/2026
Art. 3.17.3(f)
IFC 2021 §1207. 1
Según umbrales aplicables

RETIE 2026

1. **ENSAYOS** — Sistema representativo
   - UL 9540: sistema integrado
   - UL 9540A: método de ensayo
2. **RIESGOS** — HAZID / FMEA
   - Modos de fallo
   - Efectos y mitigaciones
3. **LAYOUT** — Separación + acceso
   - Análisis de riesgo
   - Venteo, drenaje, rutas
4. **FAT / SAT** — Modos normales y de fallo
   - Alarmas y protecciones
   - Operación segura
5. **EMERGENCIAS** — Operador + bomberos
   - Procedimientos
   - Equipos y formación

¿Qué hace bancable un proyecto PV + BESS?



Contratos BESS: ¿Qué se remunera?

COLOMBIA | (caso principal) PPA por bloques horarios



Remuneración: energía contratada por bloques horarios

Producto 3

- 08–18 h — Bloque diurno
- 18–22 h — Bloque vespertino

- Perfiles en el PPA
- Entrega comprometida
- Ingreso por energía
- Caso aplicable en Colombia

UZBEKISTÁN (referencia internacional)

Energía solar + disponibilidad del BESS



Remuneración diferenciada

- **Energía solar** (MWh)
- **Disponibilidad del BESS** (Pago por disponibilidad contractual)

Ejemplo: Nur Bukhara
250 MW PV + 63 MW / 126 MWh BESS
Referencia internacional

TOLLING (modelo privado)

Pago por derechos de utilización



- Pago por derechos de utilización
- Acuerdo privado entre partes
- Flexibilidad operativa (según contrato)
- Ingreso fijo y/o variable (por uso del BESS)

COLOMBIA: Energía contratada | **UZBEKISTÁN: Energía + disponibilidad** | **TOLLING: Derechos de uso**

Fin de vida de un BESS: decisiones y gestión ambiental



BESS: viabilidad integral del proyecto

SEGURIDAD
Diseño y mitigación de riesgos

EFICIENCIA
RTE · MWh netos al POC

DEGRADACIÓN
SOH · aumentación si aplica

PROYECTO PV + BESS



CARGA FV → BESS → PCS → POC

ECONOMÍA
CAPEX · OPEX · CFADS

CONTRATOS
PPA · medición · garantías

FIN DE VIDA
Retiro · trazabilidad · cierre

CICLO DE VIDA DEL PROYECTO	DESARROLLO	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN	AUMENTACIÓN (SI APLICA)	CIERRE

OPTIMIZAR EL SISTEMA COMPLETO

¿Más capacidad BESS significa mayor rentabilidad?

PLANTA FV
100 MWac / 130 MWp

BESS
Duraciones: 2 y 4 h



FV PROPIA → BESS

TRES CONFIGURACIONES

40 MWh	80 MWh	120 MWh
20 MW · 2 h	20 MW · 4 h	30 MW · 4 h

MWh útiles AC al POC · inicio de vida

VAN INCREMENTAL
Miles de millones de COP · respecto a FV sin BESS

500 COP/kWh | 900 COP/kWh



LECTURA RÁPIDA

500 COP/kWh
Todas las configuraciones presentan VAN incremental negativo.

900 COP/kWh
VAN incremental positivo para 80 y 120 MWh; negativo para 40 MWh.

NO HAY ÓPTIMO UNIVERSAL
Precios · CAPEX · desempeño

CAPEX UNITARIO DESIGUAL
40 MWh: **240 USD/kWh**
80/120 MWh: **200 USD/kWh**

OPEX anual
2 % del CAPEX inicial
(sin aumentación)

CAPACIDAD ÚTIL — 120 MWh



AUMENTACIÓN
20 % CAPEX · pago fin año 10
+13,33 % E inicial desde año 11 · coste 1,5×

Hipótesis: 250 EFC/año · RTE 86 % · 15 años · descuento 12 %
Coste de oportunidad FV: 200 COP/kWh (energía FV que se habría vendido directamente)

500 y 900 COP/kWh: precios hipotéticos
de venta de energía descargada · NO precios CLPE

Tres casos globales de PV+BESS

NUR BUKHARA
UZBEKISTÁN

DESARROLLADOR: Masdar

- 250 MW FV
- 63 MW / 126 MWh BESS



PAGO DIFERENCIADO

PPA FV · 25 AÑOS
BESS · 10 AÑOS

- ENERGÍA FV → PAGO POR ENERGÍA
- DISPONIBILIDAD → PAGO POR DISPONIBILIDAD

- RESPALDO MULTILATERAL
- FINANCIADO 2024
- INAUGURADO 2025

LECCIÓN: INGRESOS DIFERENCIADOS

KENHARDT
SUDÁFRICA

DESARROLLADOR: Scatec

- 540 MW FV
- 225 MW / 1.140 MWh BESS



ENTREGA DESPACHABLE

PPA 20 AÑOS



150 MW DESPACHABLES

- CIERRE FINANCIERO 2022 → OPERACIÓN 2023

LECCIÓN: DIMENSIONAR PARA EL SERVICIO

ABYDOS I BESS
EGIPTO

DESARROLLADOR: AMEA Power

- 500 MWac FV
- 300 MWh BESS



RETROFIT FINANCIADO

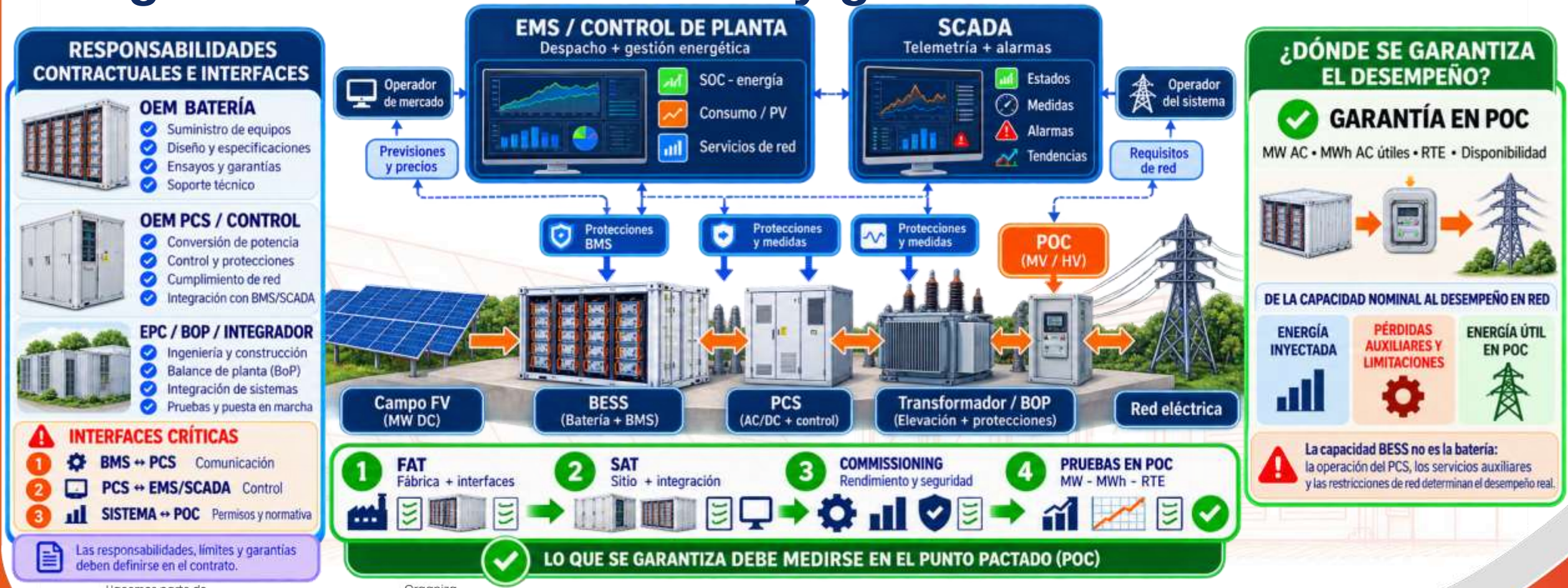
IFC → 72 MUSD DEUDA BESS → AMPLIACIÓN

- FV OPERATIVA 2024
- FINANCIACIÓN 2025
- BESS EN SERVICIO 2025

LECCIÓN: REVISAR POI Y CONTRATOS

EL SERVICIO CONTRATADO Y EL RIESGO ASIGNADO DEFINEN LA FINANCIACIÓN | Aplicar las lecciones, no copiar las tarifas

Integración BESS: interfaces y garantías



Experiencia global en BESS



1 VIABILIDAD Y DIMENSIONAMIENTO

- Estudios de viabilidad y BESS Sizing
- Análisis técnico-económico y simulaciones
- Definición de servicios y estrategia operativa
- Informe de viabilidad y recomendación MW / MWh

2 DUE DILIGENCE Y FINANCIACIÓN

- Technical Due Diligence (ingeniería independiente)
- Lender's Engineer / Asesoría a financiadores
- Revisión de riesgos técnicos, contractuales y de permisos
- **INFORME TDD**

3 INGENIERÍA Y CONTRATACIÓN

- Revisión de diseño (ingeniería básica y de detalle)
- Soporte en la contratación (Tender support)
- Revisión de especificaciones técnicas y evaluación de ofertas
- Informe de revisión de diseño y recomendación al propietario

4 CONSTRUCCIÓN Y ACEPTACIÓN

- Supervisión de construcción (Owner's Engineer)
- Inspecciones y ensayos (FAT/SAT)
- Soporte en la puesta en marcha y pruebas de desempeño
- Informe de construcción, comisionamiento y aceptación

5 OPERACIÓN Y FIN DE VIDA

- Revisión de desempeño y auditorías en operación
- Análisis de degradación y vida útil
- Evaluación de repotenciación o segunda vida
- Estimación de costes y plan de desmantelamiento

EXPERIENCIA INTERNACIONAL



AUSTRALIA
OWNER'S ENGINEERING
Revisión técnica + licitación EPC



REINO UNIDO
TECHNICAL DUE DILIGENCE
Evaluación de portafolio BESS



MONGOLIA
FEASIBILITY / SIZING
FV + BESS · restricciones de red

ASESORÍA TÉCNICA INDEPENDIENTE DURANTE TODO EL CICLO DE VIDA

BESS en Colombia: tres claves para el éxito

1 DEFINIR EL SERVICIO

El contrato determina MW y MWh



SERVICIO → MW + MWh → ARQUITECTURA

Primero el servicio; después la batería

2 ASEGURAR EL DESEMPEÑO

Seguridad + MWh útiles a lo largo de la vida



DISEÑO → OPERACIÓN → AUMENT. / CIERRE

Diseñar para toda la vida, no solo para el inicio

3 DEMOSTRAR EL NEGOCIO

Ingreso legal + cobrable + financiable



HABILITACIÓN → CONTRATO → COBRO → FINANCIACIÓN

Sin cobro verificable no hay bancabilidad demostrada

COLOMBIA 2026

SERVICIO DEFINIDO + DESEMPEÑO VERIFICABLE + INGRESO COBRABLE

BASE PARA UN PROYECTO BANCABLE

PREGUNTAS



X CONGRESO INTERNACIONAL
SISTEMAS BESS Y MINIGRANJAS SOLARES

10 ANIVERSARIO ExpoSolar® Colombia 2026
Energía renovable, futuro imparable

Muchas gracias por su atención

RINA Daniel Martinez, PhD

+33 769 88 00 85 daniel.martinez@rina.org www.linkedin.com/in/da-martinez



Hacemos parte de econexia ECOSISTEMA DIGITAL DE CONEXIONES & NEGOCIOS operado por corferias

Organiza Centro de Ciencia y Sensibilización Ambiental | corferias Generadores de Oportunidades y Progreso | Empresa B Certificada