GLOBAL PST CONSORTIUM

Plan para el Centro de Control del Futuro

Preparado para el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, Perú

EPRI ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

NREL Transforming ENERGY

COES

Preparado por el Instituto de Investigación sobre Energía Eléctrica y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable en el marco de las actividades del pilar 2 (Apoyo técnico al operador del sistema) del Consorcio para la Transformación Global del Sistema Energético

Marzo de 2022

AVISO

Parte de este trabajo fue llevada a cabo por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés), operado por Alliance for Sustainable Energy, LLC, para el Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos en virtud del contrato n.º DE-AC36-08GO28308. Financiamiento proporcionado por Sequoia Climate Fund en virtud del contrato n.º FIA-20-16858. Las opiniones expresadas en este informe no representan necesariamente la opinión del Gobierno de los Estados Unidos, del Departamento de Energía de dicho país ni de ningún otro organismo dependiente de dicho Gobierno.

El Laboratorio Nacional de Energía Renovable imprime en papel con contenido reciclado.

Agradecimientos y descargo de responsabilidad

Este plan brinda un enfoque estructural (no una recomendación específica) que el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), el Instituto de Investigación sobre Energía Eléctrica (EPRI, por sus siglas en inglés) y el Consorcio para la Transformación Global del Sistema Energético (G-PST, por sus siglas en inglés) proponen al Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) para la posible puesta en práctica en todas las áreas de operación del centro de control (punto final del plan) de una estructura que sea la mejor de su clase y que cuente con los aportes de las evaluaciones de alto nivel del modelo funcional y de capacidades del COES (punto inicial del plan). Este documento no pretende ser un plan de puesta en práctica ni un conjunto de medidas que el COES deba tomar, sino que consiste en una forma indicativa y visionaria de considerar los enfoques óptimos para satisfacer las demandas del futuro sistema eléctrico.

Este plan de investigación para el centro de control fue posible gracias al financiamiento de la Fundación Sequoia como parte del apoyo al consorcio G-PST. G-PST es una iniciativa de expertos y profesionales en la que participan importantes operadores de sistemas eléctricos, institutos de investigación y educación, gobiernos, empresas y otras partes interesadas con el fin de superar obstáculos comunes en todo el mundo para fomentar las transiciones a energía limpia en una escala sin precedentes. Para conocer más detalles, véase www.globalpst.org.

El COES, que es del Perú, fue identificado como un socio adecuado para esta asistencia técnica porque está iniciando un cambio hacia una mayor penetración de la energía eólica y solar en su sistema eléctrico y expresó interés en las posibles prioridades de inversión recomendadas para adaptarse a una generación energética más variable, así como en el cambio de los perfiles de demanda de energía a través de la electrificación y el aumento de las tasas de crecimiento.

Lista de siglas

CCF	Centro de Control del Futuro
COES	Comité de Operación Económica del Sistema
CPO	centro de preparación para las operaciones
EPRI	Electric Power Research Institute (Instituto de Investigación sobre Energía Eléctrica)
GMR	gestión de modelos de red
G-PST	Global Power System Transformation Consortium (Consorcio para la Transformación Global del Sistema Energético)
NERC	North American Electric Reliability Corporation (Corporación Norteamericana de Fiabilidad Eléctrica)
NREL	National Renewable Energy Laboratory (Laboratorio Nacional de Energía Renovable)
OST	operador de sistemas de transmisión
PIB	producto interno bruto
SCADA	*supervisory control and data acquisition* (control de supervisión y adquisición de datos)
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
SGE	sistema de gestión energética
TO	tecnología operativa

Índice

1 Introducción **6**
2 El sistema del Perú en su contexto **7**
2.1 Iniciativas centradas en el período 2026-2030 7
2.2 Misión, visión y valores del COES 12
3 Marco de diseño del CCF **13**
3.1 Enfoque tradicional del diseño de las salas de control 13
3.2 Visión del CCF 13
3.3 Fundamentos y pilares del CCF 15
3.4 Modelo funcional y de capacidades, y arquitecturas 17
3.5 Modelos y transmisión en continuo de datos 23
3.6 Herramientas del centro de control 30
3.7 Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones 43
3.8 Edificios, instalaciones y equipos 50
4 Resumen **57**
5 Recomendaciones **58**

Lista de figuras

Figura 1. Proyección de la demanda futura de 2021 a 2030, basada en la proyección más optimista de aumento del PIB de 5 % hasta 2030 7
Figura 2. Cuota proyectada de generación total de 2026 a 2035, basada en el promedio de las diferentes situaciones posibles de planificación 8
Figura 3. Visión del sistema de transmisión del Perú basada en el plan de transmisión del COES para 2021-2030 10
Figura 4. Crecimiento de la demanda y cuota de capacidad de generación proyectada entre 2020 y 2035, según las estadísticas del Plan de Transmisión del COES 11
Figura 5. Misión, visión y valores del COES 12
Figura 6. Historia y visión del CCF 14
Figura 7. Marco de referencia para el CCF (c), EPRI, 2021 15
Figura 8. Resumen del marco del CCF para el COES 16
Figura 9. Principales factores de cambio del modelo funcional y de capacidades, y la arquitectura 17
Figura 10. Visión y requisitos operativos para 2030 18
Figura 11. Registro de riesgos de desarrollar y mejorar el modelo funcional y de capacidades, y las arquitecturas 19
Figura 12. Plan para el modelo funcional y de capacidades, y las arquitecturas 20
Figura 13. Planes de puesta en práctica del modelo funcional y de capacidades, y de la arquitectura 21
Figura 14. Principales factores de cambio del pilar "Modelos y transmisión en continuo de datos" 23
Figura 15. Visión de los modelos de datos en el CCF del COES, pasando de un sistema descentralizado a uno centralizado 24
Figura 16. Requisitos operativos hasta 2030 correspondientes al pilar de datos del CCF 25
Figura 17. Registro de los riesgos de desarrollar y mejorar la capacidad de gestión de datos 26
Figura 18. Plan para el pilar "Datos" del CCF 27
Figura 19. Plan y programa de puesta en práctica del pilar "Datos" 28
Figura 20. Principales factores de cambio del pilar "Herramientas del centro de control" 31
Figura 21. Requisitos operativos del pilar "Herramientas del centro de control" del CCF para 2030 32
Figura 22. Registro de riesgos de desarrollar y mejorar las herramientas del centro de control 33
Figura 23. Plan para el desarrollo de las herramientas del centro de control y de planificación de operaciones para el CCF con base en la prioridad indicativa 39
Figura 24. Plan para el desarrollo de las herramientas del SGE y YUPANA para el CCF 40
Figura 25. Plan y programa de puesta en práctica del pilar "Herramientas del centro de control" 41
Figura 26. Principales factores de cambio del pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones" 43
Figura 28. El concepto de hipervisión según lo desarrolló RTE en Francia 44
Figura 27. Panel de información actual del COES para el conocimiento de la situación 44
Figura 29. Requisitos operativos del pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones" del CCF para 2030 45

Figura 30. Registro de riesgos de desarrollar y mejorar el modelo funcional y de capacidades, y las arquitecturas 46
Figura 31. Plan para el pilar “Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones” del marco del CCF 47
Figura 32. Plan de puesta en práctica del pilar “Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones” 48
Figura 33. Principales factores de cambio del pilar “Edificios, instalaciones y equipos” 50
Figura 34. Requisitos operativos del pilar “Edificios, instalaciones y equipos” del CCF para 2030 51
Figura 35. Registro de riesgos de desarrollar y mejorar los edificios, las instalaciones y los equipos 52
Figura 36. Plan para el pilar “Edificios, instalaciones y equipos” del CCF 53
Figura 37. Programa de puesta en práctica del pilar “Edificios, instalaciones y equipos” del CCF 54
Figura 37. Programa de puesta en práctica del pilar “Edificios, instalaciones y equipos” del CCF 54

Lista de tablas

Tabla 1. Lista de 13 herramientas del centro de control para el CCF 34

1 Introducción

Puesto que los sistemas eléctricos de todo el mundo atraviesan cambios transformadores en la combinación de recursos, la demanda de consumidores finales y la tecnología y la expansión de la transmisión, se necesitarán métodos y herramientas avanzados en los centros de control de las entidades encargadas de supervisar y controlar los sistemas de transmisión. Dados los elevados requisitos de fiabilidad, regulación y ritmo de innovación, las salas de control de transmisión han seguido, por lo general, una evolución lenta, a la par del crecimiento de la red de transmisión. Sin embargo, la rapidez con la que cambian los sistemas de transmisión está generando riesgos y dificultades imprevistos en los sistemas. En los sistemas con interconexión deficiente o con una alta penetración de las energías renovables y un crecimiento rápido de la demanda, las herramientas de supervisión del centro de control no son suficientes para evaluar y abordar los riesgos que es muy probable que afecten a los sistemas. Es probable que el sistema eléctrico peruano se vea ante estos problemas en las próximas décadas, dada la rápida expansión de la demanda, la variabilidad de la generación de energía renovable y el crecimiento de la red que se prevén.

Si bien hoy en día se dispone de algunas soluciones útiles e interesantes, queda mucho por investigar, desarrollar y poner en práctica para introducir los datos, las herramientas, los procesos y las mejoras del factor humano de las nuevas arquitecturas en el entorno de los centros de control en tiempo real.

Este plan de investigación trazará el camino hacia el Centro de Control del Futuro (CCF) del COES. Se trata de un plan ambicioso y visionario que apunta a crear un centro de control para operadores de sistemas que sea líder en el sector. El plan abarca todos los aspectos del centro de control, desde los puntos de datos hasta el diseño de las instalaciones. Cabe señalar que el COES ya está muy avanzado en el desarrollo de aplicaciones y en la visualización de datos en comparación con otros operadores de sistemas de transmisión (OST). Este plan pretende tomar este excelente progreso como punto de partida y avanzar hacia un diseño innovador para el futuro.

2 El sistema del Perú en su contexto

2.1 Iniciativas centradas en el período 2026-2030

Se prevé que el sistema eléctrico del Perú tenga un crecimiento importante en las próximas décadas. Con base en la actualización del plan de transmisión para 2021-2030, se pronostica una inversión de alrededor de 1600 millones de dólares estadounidenses en proyectos de infraestructura de transmisión. Esto será necesario debido al crecimiento previsto de la demanda, que requerirá un aumento proporcional en la generación de energía. Se prevé un monto de aproximadamente 981 millones de dólares estadounidenses para 11 proyectos y obras de construcción, cuyo inicio está planificado para 2020-21 y su finalización, para 2026. Los 659 millones de dólares restantes están destinados a 13 proyectos, cuya construcción comenzará después de 2021.[1]

En los siguientes apartados, se analiza el aumento de la demanda, la generación de energía y la red en el Perú durante la próxima década en relación con las necesidades del centro de control.

2.1.1 La demanda futura

Las proyecciones de crecimiento de la demanda se basan en la actualización del plan de transmisión del COES para 2021-2030.[2] Estas se fundan, en primer lugar, en el crecimiento del producto interno bruto (PIB) del país entre 2020 y 2030, teniendo en cuenta la reducción del PIB debida a la pandemia de COVID-19. Según la tasa de crecimiento proyectada más optimista, se prevé que el PIB aumente un 5,0 % anualizado a lo largo de la década.

En la proyección más optimista del crecimiento del PIB, se prevé que la demanda máxima pase de 8,1 GW en 2021 a 13,5 GW en 2030, es decir, un crecimiento anualizado de la demanda de 5 %.

¿Qué significa esto para el centro de control?

Un aumento aproximado de 5 % de la demanda máxima de un año a otro dará lugar a un incremento de la generación que deberá gestionarse para equilibrar el sistema.

La demanda nueva o mayor en nuevos lugares cambiará los flujos de energía del sistema, y el crecimiento de la demanda causará congestiones en la transmisión y problemas de estabilidad donde antes no los había.

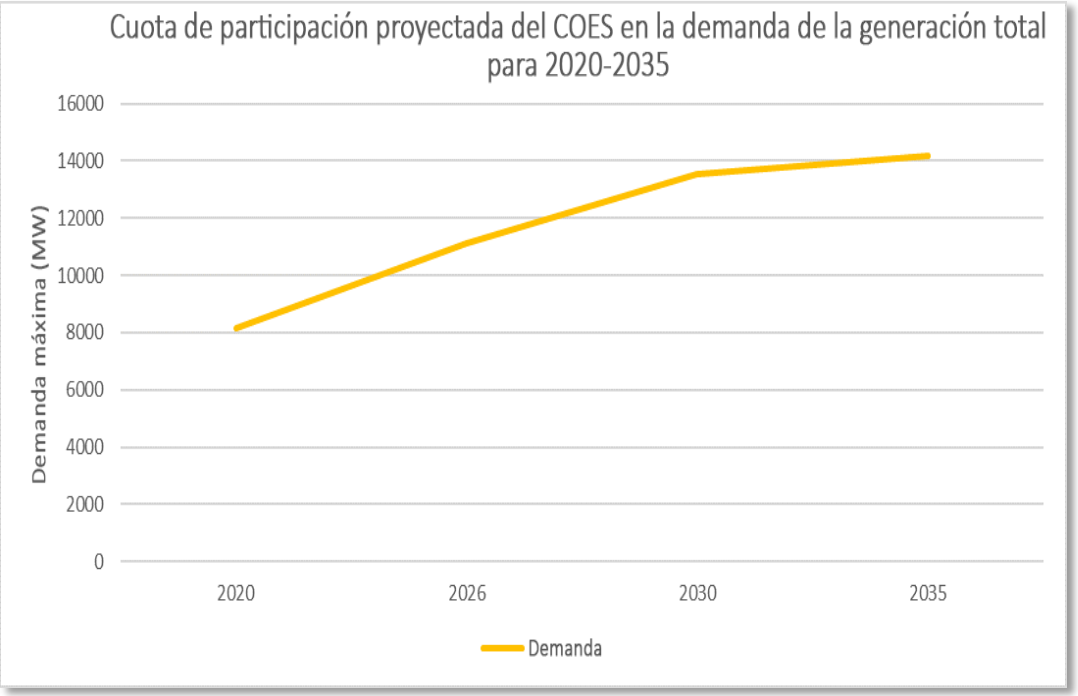


Figura 1. Proyección de la demanda futura de 2021 a 2030, basada en la proyección más optimista de aumento del PIB de 5 % hasta 2030 [Fuente: Dirección de Planificación de Transmisión, "Propuesta definitiva de actualización del plan de transmisión 2021-2030", octubre de 2020].

[1]Fuente: Informe sobre transmisión global: https://globaltransmission.info/archive.php?id=40566
[2]Fuente: Dirección de Planificación de Transmisión, "Propuesta definitiva de actualización del plan de transmisión 2021-2030", octubre de 2020.

A medida que los principales fabricantes de vehículos dejen de producir motores de combustión interna en los próximos años y los fabricantes mundiales se adapten a las iniciativas de descarbonización, se prevé que aumente la electrificación del transporte, la calefacción, la agricultura y la industria para cumplir con los objetivos climáticos. El electrificar sectores de la sociedad exigirá aumentar la exactitud de los pronósticos de la demanda para planificar y hacer un seguimiento en tiempo real más exacto de la demanda a nivel de la distribución.

Parte de este incremento de la electrificación traerá consigo mayor flexibilidad de las baterías y los vehículos eléctricos; no obstante, será necesario que el centro de control del COES o los operadores del sistema de distribución los coordinen, los supervisen, los optimicen y, potencialmente, los controlen.

2.1.2 Generación futura

Las proyecciones de aumento de la generación se basan en la Actualización del Plan de Transmisión del COES para 2021-2030.[3] En el marco del plan, se estudiaron seis posibles situaciones distintas para 2026, 2030 y 2035. Dado que es imposible prever la variación diaria de la generación, los porcentajes de la capacidad total son más adecuados para medir las tendencias que las estadísticas de megavatios en bruto. A los efectos del presente plan, se calcularon promedios para las diversas situaciones posibles a fin de obtener una proyección o tendencia general.

Se prevé que la cuota de energía renovable variable (eólica y solar) pase de alrededor de 5 % en 2020 a 13 % en 2026. Aunque la capacidad total es relativamente pequeña, representa un aumento de 2,5 veces en la cuota de energía eólica y solar que el centro de control debe planificar con antelación y gestionar en tiempo real.

Se prevé una caída de 60 % a 40 % en la cuota de generación procedente de la energía hidroeléctrica entre 2020 y 2026, que se espera compensar con la generación térmica. A largo plazo, para 2035, se proyecta que la energía eólica y la solar crezcan, pero a un ritmo relativamente lento, hasta representar el 21 % de la generación total.

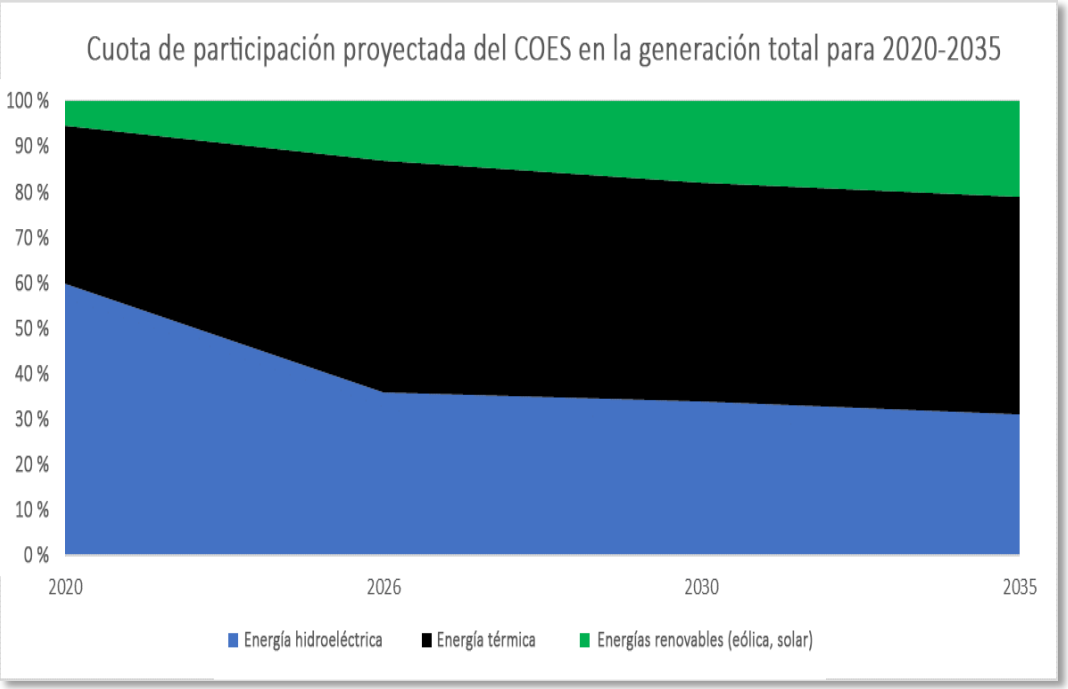


Figura 2. Cuota proyectada de generación total de 2026 a 2035, basada en el promedio de las diferentes situaciones posibles de planificación [Fuente: Futuros de oferta, Dirección de Planificación de Transmisión, "Propuesta definitiva de actualización del plan de transmisión 2021-2030", octubre].

¿Qué significa esto para el centro de control?

Las energías eólica y solar son recursos variables que deben pronosticarse con antelación y en tiempo real. Debido a su baja cuota de participación en la capacidad total, se les ha dado menos importancia a estas energías en el pronóstico. Sin embargo, a medida que la cuota crezca, la exactitud de los pronósticos será más importante, por lo que habrá que establecer sistemas de predicción. Probablemente, las fuentes de energía eólica y solar tendrán

[3]Fuente: Dirección de Planificación de Transmisión, "Propuesta definitiva de actualización del plan de transmisión 2021-2030", octubre de 2020.

prioridad para que esta forma de generación sea aceptada cuando brinde producción; aun así, es probable que sea necesario supervisar y controlar para realizar recortes y reducir las restricciones debidas a la congestión.

Habrá que mejorar la capacidad de estudio y el apoyo a la toma de decisiones para tener en cuenta el aumento del uso de las energías renovables como consecuencia de la mayor imprevisibilidad. Al no tener inercia sincrónica, los recursos eólicos y solares pueden plantear problemas de estabilidad cuando reemplazan a las unidades de generación térmica del sistema. Esto puede mitigarse mediante servicios de red suministrados por los propios inversores inteligentes, pero esa eventualidad queda fuera del ámbito de este plan. Será necesario mejorar las herramientas de estudio y las capacidades de visualización actuales para tener en cuenta el aumento en el uso de las energías renovables.

2.1.3 Red de transmisión futura

Se espera que la red de transmisión de extraalta tensión se mejore considerablemente en los próximos años. El avance más importante es la finalización del sistema de anillo de 500 kV alrededor del país y la interconexión con Ecuador, Colombia y Chile.

- Se gastarán 981 millones de dólares estadounidenses en mejorar la red hasta 2026, lo que incluye 11 grandes proyectos de 500 kV y 220 kV.
- Y, para 2030, la red se mejorará con la inversión de 659 millones de dólares estadounidenses, lo que incluye 13 grandes proyectos de 500 kV y 220 kV.

Estas tasas de crecimiento no incluyen proyectos de alta tensión ni de subtransmisión, y pretenden dar una muestra de la magnitud de la inversión en infraestructuras de transmisión para 2030. Se espera que al menos una docena de proyectos de transmisión de energía entren en servicio este año en el Perú, en el marco de un aumento pronosticado de dos dígitos en el consumo de electricidad. Para 2021, se prevé la construcción de las nuevas subestaciones Malabrigo, Chiribamba (Caudalosa), Campo Verde, Alto Zapata (Moquegua Ciudad), Puno Sur y Maravilla, así como la ampliación de la subestación Motil. También entrarán en funcionamiento las líneas de 138 kV Santiago de Cao-Malabrigo (41,4 km), Aguaytía-Pucallpa (segundo circuito y 132 km), Moquegua-Alto Zapata (Moquegua Ciudad, 6 km) y Totorani-Puno Sur (10,6 km), y el enlace de 220 kV San Juan-Balnearios (8,83 km).[4]

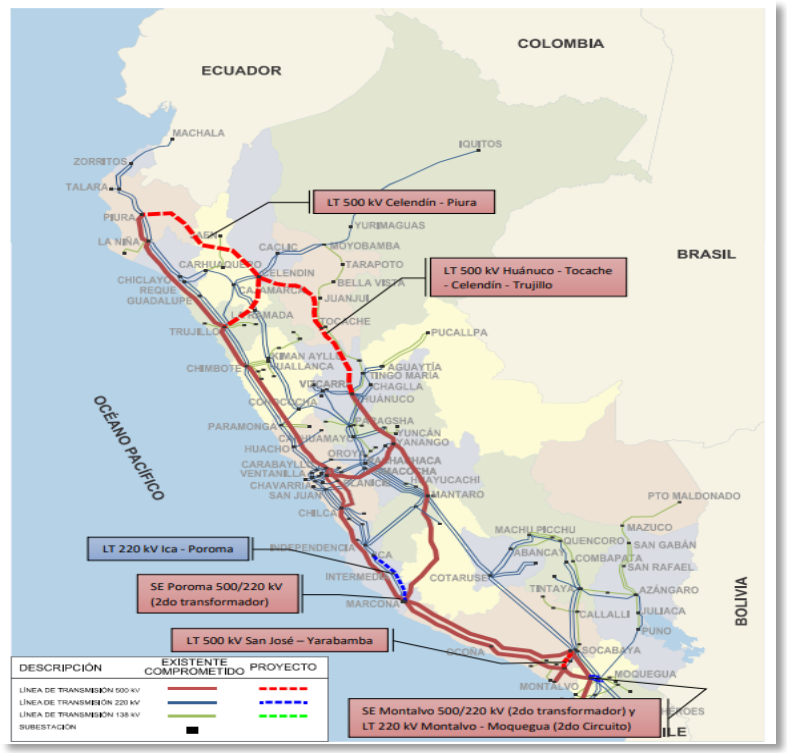


Figura 3. Visión del sistema de transmisión del Perú basada en el plan de transmisión del COES para 2021-2030

¿Qué significa esto para el centro de control?

El rápido crecimiento de la red tendrá muchos efectos importantes en el centro de control del COES:

- Una mayor huella de transmisión para supervisar y controlar.
- Un cambio en el modelo mental del operador y nuevos patrones de flujo, contingencias y, probablemente, problemas en el sistema.
- Mayor necesidad de modelar la red en varias herramientas del centro de control.
- Aumento de los cortes en el sistema, de las pruebas de equipos y de las alarmas de protección y control para el centro de control.
- Aumento de la cantidad de dispositivos de protección y control que deben supervisarse en tiempo real.

[4] Fuente: https://www.bnamericas.com/en/news/peru-to-shore-up-regional-power-dispatch-in-2021

2.1.4 Resumen

Desde la perspectiva del centro de control del COES, habrá un cambio considerable en los próximos 5 a 10 años. El plan de transmisión del COES, el ritmo previsto de crecimiento de la demanda y los nuevos activos de la red conllevarán una necesidad importante de nuevas herramientas de gestión de datos y del centro de control.

Dada la incertidumbre inherente a pronosticar el futuro, el COES se centra en un plazo más corto (es decir, hasta 2026). Las proyecciones pueden cambiar debido a factores externos. Las tasas de crecimiento de la demanda se basan en las tasas más optimistas de crecimiento del PIB; las tasas de crecimiento de la generación son promedios de distintas situaciones posibles que se incluyen en el plan de transmisión, y los proyectos de construcción de redes pueden sufrir retrasos. Será necesario revisar el plan de manera periódica para garantizar que se ajuste a las tasas de crecimiento previstas hoy en día. Sin embargo, los elementos centrales del plan seguirán siendo los mismos, y existe la posibilidad de adaptarlo y perfeccionarlo durante el transcurso de la década.

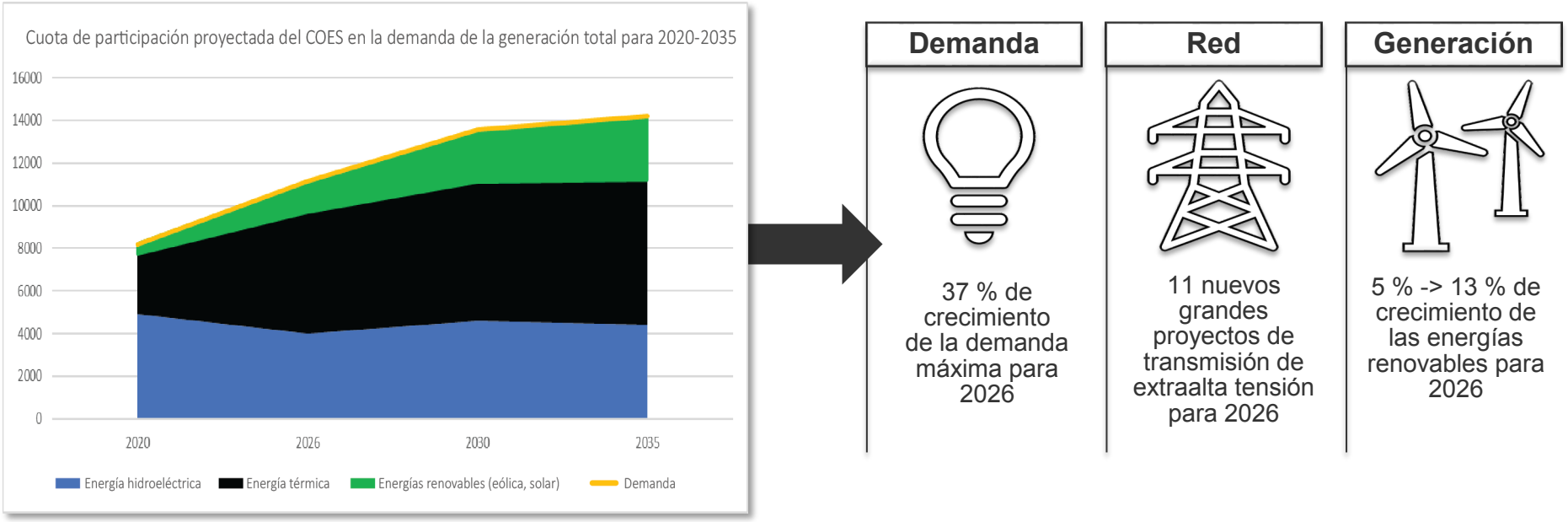


Figura 4. Crecimiento de la demanda y cuota de capacidad de generación proyectada entre 2020 y 2035, según las estadísticas del Plan de Transmisión del COES

2.2 Misión, visión y valores del COES

Al elaborar un plan para el futuro, es importante asegurarse de que la dirección corporativa de la organización esté alineada y sea parte esencial de la visión. El COES publica su misión, visión y valores, que se ilustran en la Figura 5. La misión, la visión y los valores se mencionan con regularidad en este plan y constituyen una parte fundamental de la dirección de la empresa.

Misión

- Gestionar el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional con transparencia, imparcialidad y excelencia; y proponer planes para su desarrollo a fin de garantizar sosteniblemente la seguridad y calidad del suministro de electricidad al país de la manera más económica posible.

Visión

- Ser un referente técnico del sector eléctrico en el Perú y en la región.

Valores

- Nuestros clientes, tanto externos como internos, son nuestra prioridad.
- Contribuimos al desarrollo económico del Perú.
- Compartimos de manera transparente nuestras acciones.
- Nos aseguramos de que nuestra labor sea imparcial y profesional.
- Nos preocupamos por hacer nuestro trabajo cada día mejor.
- Buscamos constantemente nuevas maneras de mejorar la forma en la que trabajamos.

Figura 5. Misión, visión y valores del COES

3 Marco de diseño del CCF

3.1 Enfoque tradicional del diseño de las salas de control

Tradicionalmente, los centros de control contaban con salas dominadas por grandes imágenes panorámicas del sistema que se controlaba. Este concepto de diseño comenzó como un panel esquemático (a menudo llamado “tablero de mapas”) con bombillas, medidores y líneas que mostraban las estaciones interconectadas. Solía situarse en el centro de la sala y era una zona donde la gente se reunía para evaluar y supervisar el sistema. Los operadores manejaban el sistema en tiempo real, controlando todos los recursos y equipos de transmisión de forma manual, con poca automatización.

En la década de 1970, con la llegada del control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), los sistemas de gestión energética (SGE) y la mejora de las tecnologías de visualización, los paneles esquemáticos se sustituyeron por representaciones dinámicas del sistema que se controlaba. Algunos procesos comenzaron a automatizarse, y mejores visualizaciones se hicieron comunes.

A pesar de que el sistema y las herramientas para supervisarlo y controlarlo han evolucionado en las últimas décadas, el enfoque tradicional del diseño de las salas de control ha perdurado, hasta hace poco. Las salas de control de 2021 se parecen a las de 1970 y, debido a que solo se ha cambiado el panel esquemático por un muro de video, los centros de control actuales tienen un aspecto muy similar a los de la década de 1950 o anteriores.

Si bien las proyecciones de crecimiento de la demanda, la generación y la red son más seguras para 2026, este plan documenta los sistemas y las herramientas que deberán desarrollarse y ponerse en práctica en el centro de control de Perú para hacer frente a los cambios proyectados en el sistema para 2026, pero también para que sean sostenibles y adecuados para el sistema en 2030 y más adelante. Para ello, se requiere una visión innovadora y avanzada del futuro de las actividades de los centros de control. Este plan traza una trayectoria de desarrollo desde el sistema actual de 2021 hasta los **probables** avances de 2026 (etapa 3) y los **posibles** avances de 2030 (etapa 5).

3.2 Visión del CCF

El contexto futuro del sistema eléctrico peruano, basado en el plan del sistema de transmisión del COES, se expuso con anterioridad. Muestra importantes aumentos de la demanda y de la red de transmisión con las subas correspondiente de la capacidad de generación.

La visión del CCF para 2030 garantiza que el operador siga siendo el principal responsable del funcionamiento del sistema. Los operadores se aseguran de que el sistema eléctrico sea seguro, confiable, resistente, económico y sostenible.

Se prevé que la función del operador siga la tendencia de las últimas décadas, que consiste en alejarse del tiempo real (para centrarse en el pronóstico y la evaluación de riesgos), ya que la automatización de los procesos que se dan en tiempo real seguirá avanzando.

Los operadores pasarán sin problemas de los procesos de control automático al manual según sea necesario. Para descifrar un aumento exponencial de datos, los operadores deben tener una única visión de conocimiento de la situación del sistema (“hipervisión”) que supervise los procesos automáticos y las herramientas del centro de control. Para hacer posible este cambio transformador, se necesitará un simulador avanzado (o “centro de preparación para las operaciones” [CPO]) del sistema para la capacitación y el estudio de la red en tiempo real. Deberá ser una réplica exacta del modelo del sistema y sus datos, y deberá servir de área de ensayo para probar herramientas nuevas y mejoradas para el centro de control.

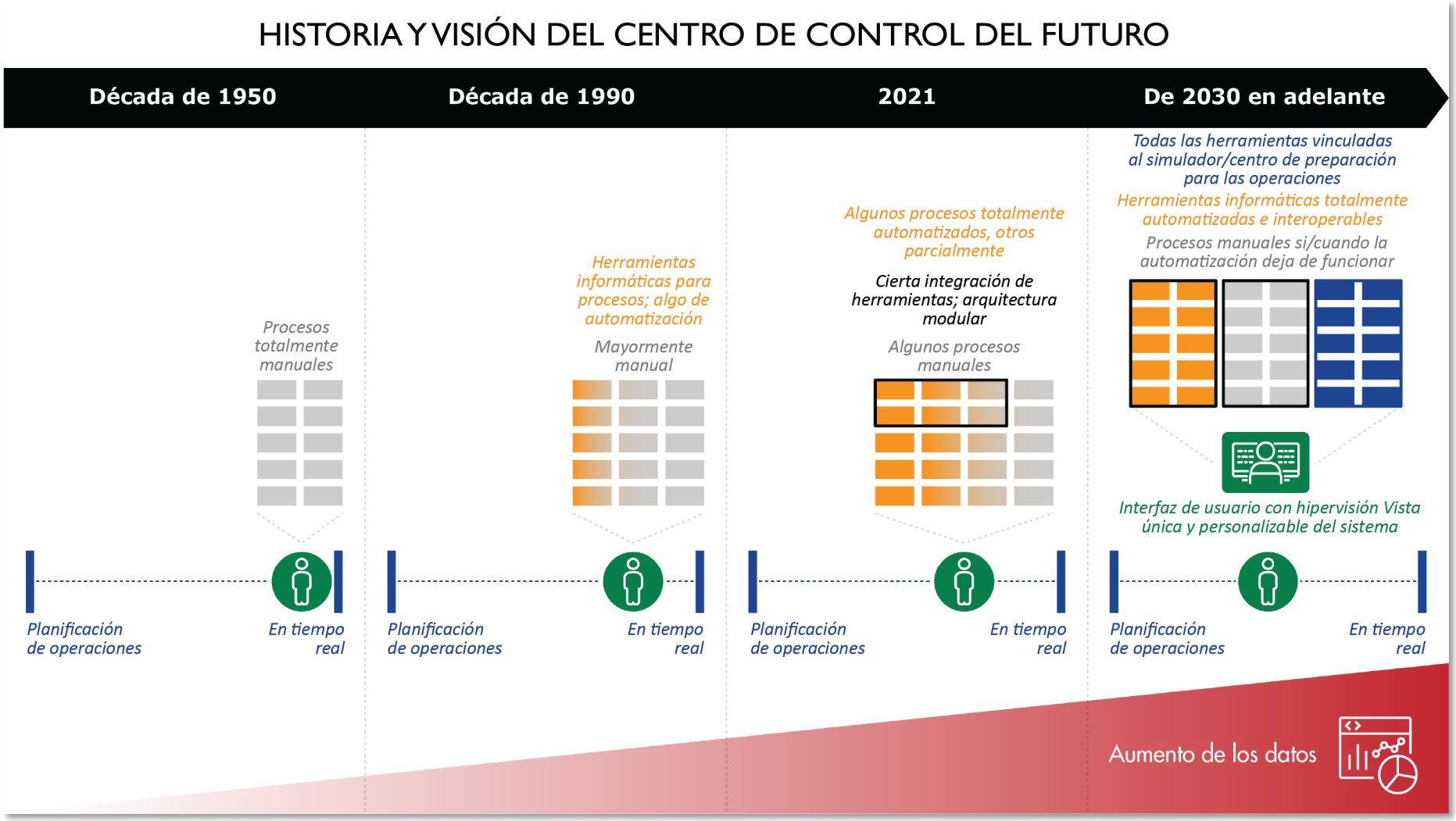


Figura 6. Historia y visión del CCF

3.3 Fundamentos y pilares del CCF

Los elementos de la visión del CCF para el centro de control del COES están concebidos como parte de un marco de referencia completo y codificado por colores, el cual se muestra en la Figura 7. La visión y el propósito cuentan con cuatro fundamentos, una capa de integración e interoperabilidad (en letra negra en la imagen), y 11 pilares de apoyo del CCF.

1. **Modelos y transmisión en continuo de datos**
2. **SGE/SCADA**
3. **YUPANA (sistema de gestión de mercado)**
4. **Herramientas de la sala de control**
5. **Herramientas de planificación de operaciones**
6. **Hipervisión y apoyo a la toma de decisiones**
7. **Control de activos**
8. **Capacitación de operadores**
9. **Simulador/CPO**
10. **Diseño de los edificios y las instalaciones**
11. ***Hardware* y ergonomía**

Para que el plan del CCF sea lo más completo posible, es importante considerar los fundamentos y los pilares como parte de un único marco que sea global. Se elaborarán planes por etapas para cada uno de los cinco grupos codificados por colores, trazando una trayectoria de desarrollo desde el sistema actual de 2021, pasando por los **probables** avances para 2026 (etapa 3), hasta los **posibles** avances para 2030 (etapa 5). El plan representa una tendencia de maduración tecnológica para el CCF, que muestra los pasos de desarrollo necesarios para hacer realidad la visión.

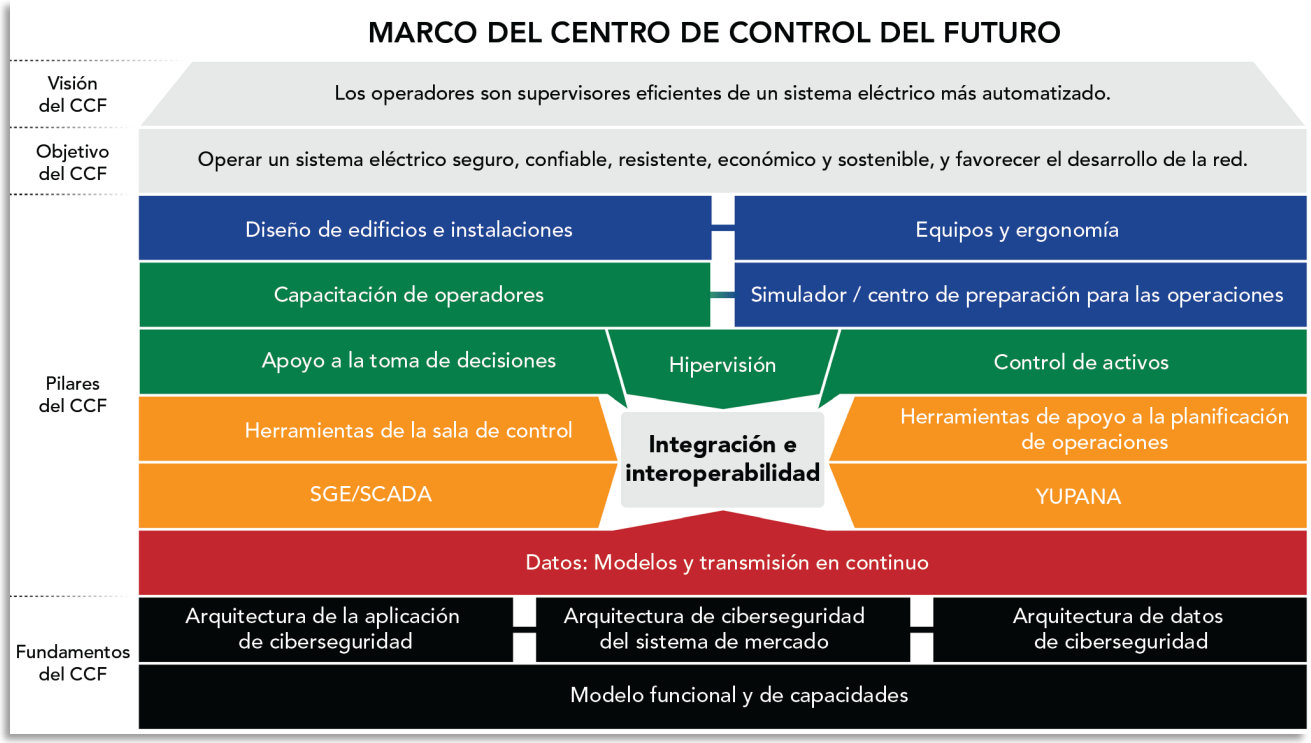


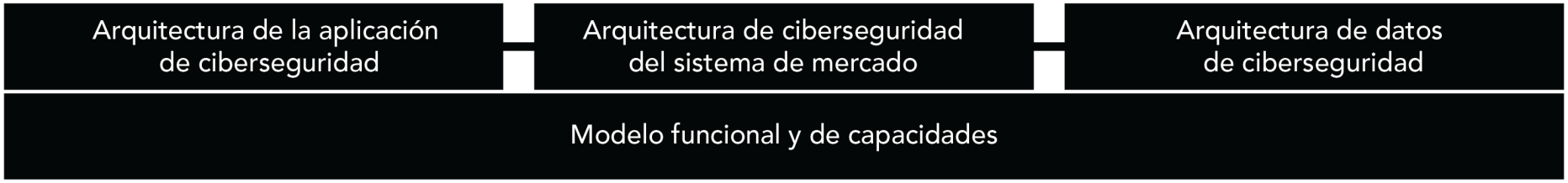
Figura 7. Marco de referencia para el CCF (c), EPRI, 2021

Cada uno de los cinco grupos de pilares se evalúa de la misma manera, y se destaca lo siguiente:

- Los factores capaces de impulsar los cambios en los pilares del CCF, con base en las proyecciones de la demanda, la generación y la red.
- La visión de cada pilar, alineada con las visiones del CCF y del COES.
- Las necesidades operativas para el período de 2021 a 2030.
- El valor de desarrollar el pilar para hacer realidad la visión.
- Los riesgos relacionados con no desarrollar el pilar.
- El plan y el programa de puesta en práctica para cada pilar hasta 2030.

Figura 8. Resumen del marco del CCF para el COES

3.4 Modelo funcional y de capacidades, y arquitecturas



3.4.1 Factores generadores de cambio y visión del CCF

El CCF se basa en capacidades y tecnología fundamentales, que son definiciones de lo que precisamente debe hacer la sala de control (también se denomina modelo funcional). Describen el modo en que se vinculan entre sí los datos, las aplicaciones informáticas y los sistemas de mercado en las arquitecturas de ciberseguridad.

Es posible que este sea el aspecto más importante del plan del CCF: un modelo funcional y unas arquitecturas bien diseñados son factores clave para que haya flujos de datos y sistemas de *software* bien diseñados en el centro de control. Sin esos elementos esenciales, el CCF está destinado a quedar desarticulado e incoherente, con sus diferentes elementos y sistemas sin la alineación y la gestión apropiadas y que divergen a medida que el sistema evoluciona.

El plan del CCF comienza con el desarrollo del modelo funcional, que define las funciones, las responsabilidades, los indicadores clave de rendimiento, los propósitos y los activos que supervisa el centro de control.

El modelo de capacidades se correlaciona con el modelo funcional, ya que describe las capacidades que necesita la empresa para llevar a cabo las funciones que exige el modelo funcional. Esto incluye recursos humanos, *hardware*, instalaciones, recursos informáticos, etcétera. El presente plan de investigación no abarca el diseño de un modelo funcional y de capacidades, y de una arquitectura de referencia para el CCF; sin embargo, se lo propone como el primer paso de este programa. Cabe señalar que no existe una arquitectura de referencia común en todo el mundo, si bien hay iniciativas con el EPRI y los proveedores para desarrollar una que pueda adoptarse en los próximos años. La visión del CCF y del COES están alineadas, ya que este organismo pretende ser una referencia técnica para el sector eléctrico en el Perú.

Es importante tener en cuenta la interconexión e interoperabilidad entre el COES, los propietarios y operadores de los sistemas de transmisión y de distribución, y los participantes del mercado. Estas áreas de responsabilidades, funciones, intercambio de datos, etcétera, deben incorporarse en el diseño de la arquitectura, muy probablemente al poner en práctica la **arquitectura de la aplicación de ciberseguridad**, ya que, sin una alineación con las entidades que se interconectan con el COES, será difícil adaptar y aumentar el tamaño del sistema de manera acorde con el crecimiento de la demanda, la generación y la red en el futuro.

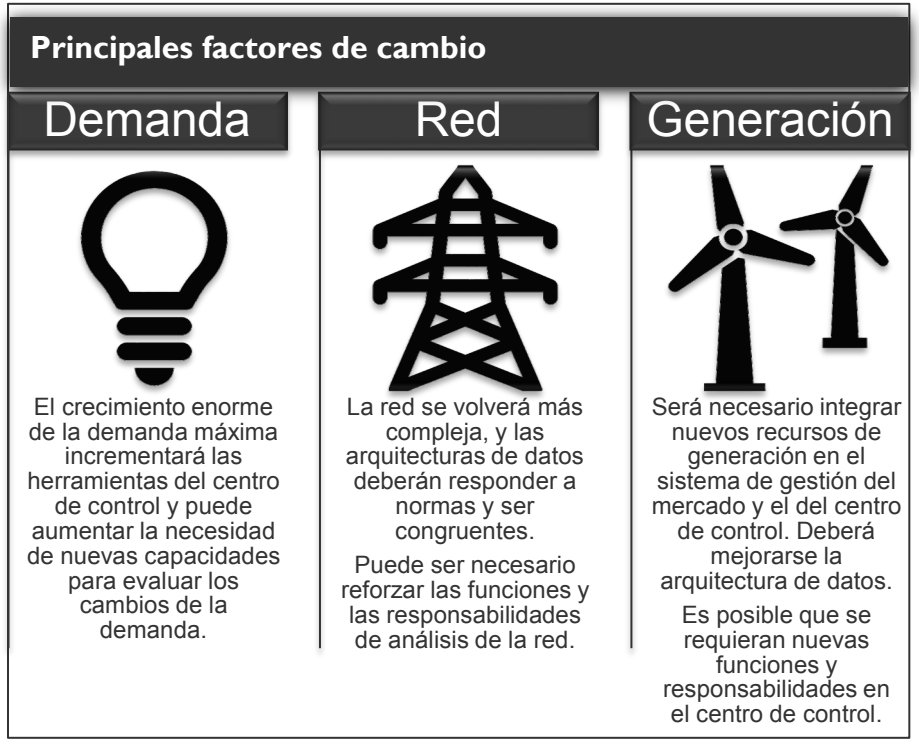


Figura 9. Principales factores de cambio del modelo funcional y de capacidades, y la arquitectura

3.4.2 Requisitos operativos de las arquitecturas y del modelo funcional y de capacidades del CCF

Con el fin de dar cabida a la gama de nuevas herramientas del centro de control y de planificación de operaciones que serán necesarias en el CCF y al aumento enorme de las cargas de datos de los operadores, deberán diseñarse nuevas arquitecturas para las aplicaciones.
Para definir las funciones y responsabilidades, a continuación se muestra un sencillo modelo funcional de referencia para el centro de control, que define los siguientes aspectos:

- **Propósitos** (por ejemplo, cumplir con las normas peruanas e internacionales sobre la supervisión de la sala de control; para 2030, debe tenerse en cuenta la misión del COES de operar con seguridad, calidad y un costo de funcionamiento mínimo).
- **Indicadores clave de rendimiento** (por ejemplo, para 2030, cada proceso de optimización de la cadena de suministro debe tener al menos un indicador clave de rendimiento).
- **Funciones** (por ejemplo, el COES debe supervisar la generación distribuida, gestionar el mercado de corto plazo y vigilar la seguridad del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional [SEIN] con respecto a la generación y la transmisión).
- **Procesos** (por ejemplo, para 2030, todos los procesos de la sala de control deberán estar integrados con la gestión de procesos internos del COES y sus normas de calidad).
- **Herramientas** (por ejemplo, SGE, YUPANA y las herramientas del centro de control; cada proceso debe tener un sistema de asistencia informática, servidores especializados y redundancia para que todos los procesos sean de gran confiabilidad).
- **Activos** (por ejemplo, red, generación y participantes del mercado, clientes, etcétera).

Este modelo funcional contribuirá y será útil para lo siguiente:

1. el modelo de capacidades del centro de control del COES para el CCF;
2. las arquitecturas de aplicaciones, datos y mercado.

Figura 10. Visión y requisitos operativos para 2030

El resultado del desarrollo de estos pilares debe ser un diseño de arquitectura modernizado, modular y flexible que esté en consonancia con el modelo funcional del centro de control. Las arquitecturas deben ser escalables en consonancia con el modelo funcional, lo que significa que, si en el futuro se añade un nuevo proceso al centro de control, este se incorpore al modelo funcional y se añada a la arquitectura como módulo complementario o *plug-in*.

3.4.3 El valor de desarrollar y mejorar un modelo funcional y las bases de la arquitectura

Desarrollar un modelo funcional y de capacidades para el centro de control permitirá asignar los recursos humanos y los gastos de capital de la forma más eficiente y satisfactoria. Un modelo funcional y de capacidades es un elemento esencial y será un marco que tendrá el consentimiento de todas las partes relacionadas con el funcionamiento del COES, la planificación de las operaciones, la tecnología informática (TI)/operativa (TO) y el centro de control. Dos ejemplos de modelos funcionales y de capacidades del sector son el modelo del EPRI y un modelo de análisis de dominio de trabajo.

El desarrollo y el mantenimiento de las personalizaciones informáticas son costosos y exigen muchos recursos. Los cambios en los enlaces de transferencia de datos de sistemas de alta confiabilidad son difíciles para los sistemas esenciales de TO en tiempo real una vez que están establecidos. Desarrollar arquitecturas bien diseñadas y ciberseguras supondrá un ahorro de costos a largo plazo en la adjudicación de contratos, la puesta en uso y el mantenimiento de las herramientas de centro de control y de apoyo para operaciones en el futuro.

3.4.4 Riesgos de desarrollar y mejorar el modelo funcional y las bases de la arquitectura

Los riesgos relacionados con el desarrollo y la mejora de una arquitectura y de modelos funcionales y de capacidades se muestran en la Figura 11. El riesgo más importante que hay que tener en cuenta y abordar son las vulneraciones de ciberseguridad que podrían producirse si el diseño de la arquitectura es inadecuado para el sistema que se controla. Entre los marcos actuales y establecidos para la ciberseguridad en el sector, se encuentran las normas de Protección de Infraestructuras Críticas de la Corporación Norteamericana de Fiabilidad Eléctrica (NERC, por sus siglas en inglés) y el Marco de Ciberseguridad del Instituto Nacional de Normas y Tecnología.

Un modelo funcional y de capacidades bien diseñado ayudará a optimizar tanto los recursos informáticos como los humanos del centro de control del futuro.

Si no se elabora uno, se corre el riesgo de que los recursos se asignen de forma incorrecta y de que no haya recursos humanos suficientes para el futuro funcionamiento del sistema.

Figura 11. Registro de riesgos de desarrollar y mejorar el modelo funcional y de capacidades, y las arquitecturas

3.4.5 Plan para el modelo funcional y de capacidades del CCF

MODELOS FUNCIONAL Y DE CAPACIDADES, Y ARQUITECTURAS DEL CENTRO DE CONTROL DEL FUTURO

	2021 **Etapa 1**	*Probable* **Etapa 1**	2026 **Etapa 3**	*Posible* **Etapa 4**	De 2030 en adelante **Etapa 5**
Modelo funcional y de capacidades	Desarrollar un modelo funcional para el centro de control y las operaciones del sistema.	Desarrollar un modelo de capacidades para el centro de control y las operaciones del sistema. Integrarlo con el diseño de la arquitectura.	Revisar y actualizar el modelo funcional y de capacidades en función de la evolución de los sistemas de energía y del mercado.	Mejorar el modelo funcional y de capacidades para todo el sistema energético del Perú (distribución, generación, demanda).	Bases del modelo funcional y de capacidades con arquitectura flexible, y gemelo digital del sistema peruano. **Situación en el futuro:** Arquitecturas adaptables, ampliables y modulares
Arquitecturas de datos, aplicaciones y mercados	Establecer una referencia para las arquitecturas actuales de informática/TO, datos y mercado. Identificar las falencias y las prioridades de diseño.	Formulación y adopción de normas de ciberseguridad. Trabajo en conjunto con los proveedores de software y de los sistemas de gestión eléctrica y de mercado, y con los participantes en la distribución y en el mercado con respecto a la arquitectura de informática/TO.	Desarrollo y puesta en práctica de una nueva arquitectura de aplicaciones y datos basada en el modelo funcional y de capacidades.	Desarrollo y puesta en práctica de una nueva arquitectura de mercado.	Arquitecturas totalmente integradas y normalizadas en toda la industria energética del Perú.

Revisión

Figura 12. Plan para el modelo funcional y de capacidades, y las arquitecturas

3.4.6 Cómo hacer realidad el plan: Programa de puesta en práctica

Los recursos del COES necesarios para poner en práctica los componentes del modelo funcional y de capacidades contemplados en el plan deberán ser expertos en la materia de la Dirección de Informática y de Operaciones y del centro de control.

Los recursos del COES necesarios para llevar a cabo los proyectos del plan relativos a la arquitectura deben centrarse en equipos y expertos especializados en TI y TO, y tendrán que contar con la participación de recursos externos, como consultores, muy probablemente en materia de normas de ciberseguridad y diseño de arquitectura.

La arquitectura debe desarrollarse y ponerse en práctica en consonancia con las principales actualizaciones de los sistemas SGE y de TO, como parte de estos proyectos que requieren muchos recursos.

Es probable que, hacia la segunda mitad de la década, este plan también requiera el compromiso de otras entidades del sector energético del Perú, en especial los operadores de sistemas de distribución, los participantes del mercado, los generadores, la demanda y los reguladores.

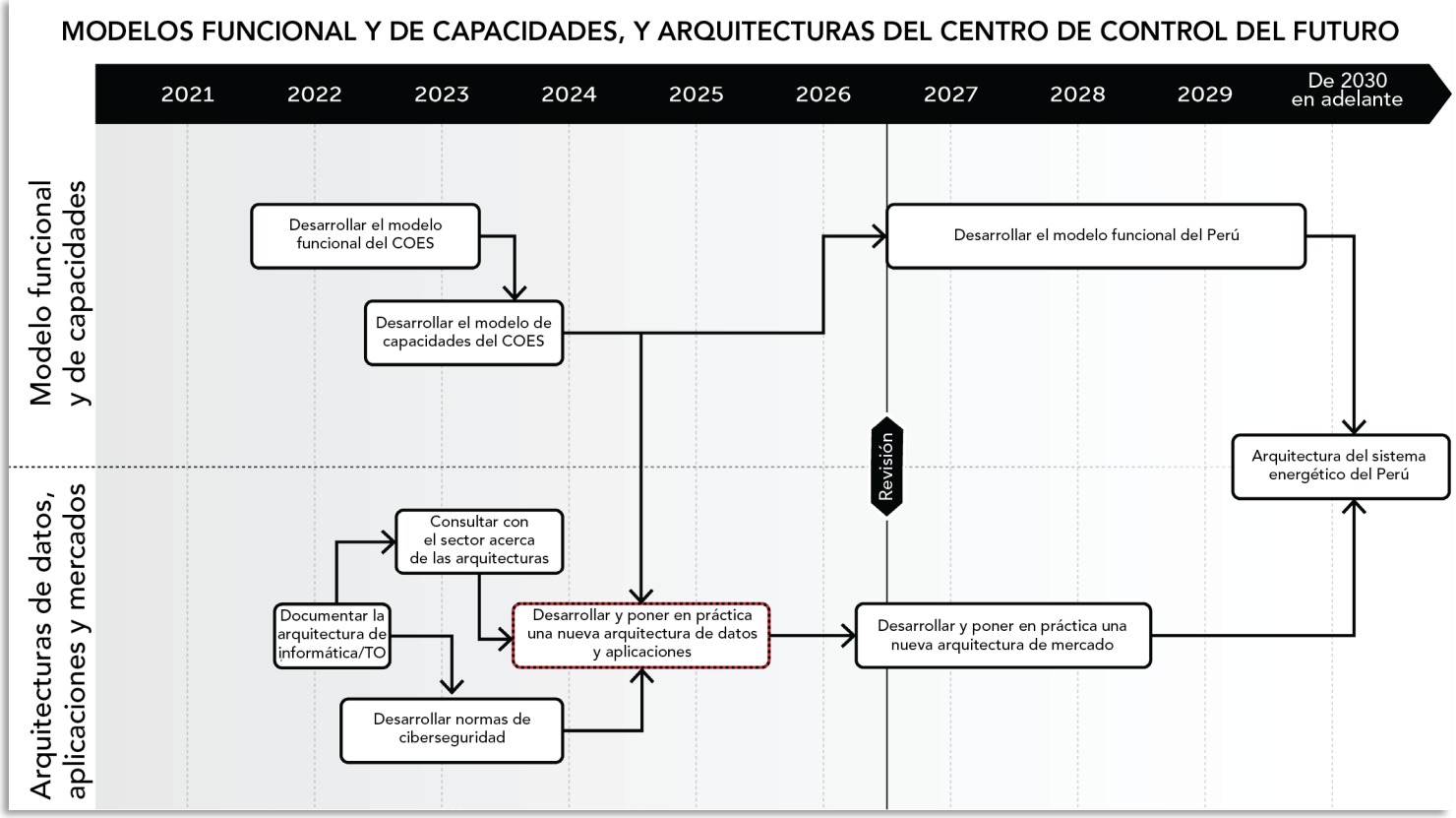


Figura 13. Planes de puesta en práctica del modelo funcional y de capacidades, y de la arquitectura

3.4.7 Acciones clave

- **Modelo funcional y de capacidades**
  - **Desarrollar el modelo funcional del COES:** Sobre la base de las referencias disponibles para modelos funcionales, como el análisis del dominio de trabajo.
  - **Desarrollar el modelo de capacidades del COES:** Este modelo debe basarse en la delimitación del campo de acción del centro de control.
  - **Desarrollar el modelo funcional del Perú:** Este modelo sería la visión para el futuro, como un modelo esperado para el sector energético.
- **Arquitecturas de datos, aplicaciones y mercados**
  - **Establecer arquitecturas de referencia y consultar sobre la arquitectura:** Esta actividad es un asesoramiento que el COES debe solicitar a un tercero para que este haga un diagnóstico de la arquitectura actual y brinde recomendaciones para lograr y mantener una arquitectura integral basada en la información.
  - **Desarrollar normas de ciberseguridad:** En la actualidad, la ciberseguridad del COES se basa en la normativa de Protección de Infraestructuras Críticas de la NERC, y en el futuro será necesario poner en práctica los cambios y actualizaciones que se realicen en dicha norma.
  - **Desarrollar y poner en práctica una nueva arquitectura de datos y aplicaciones.**
    - Deben diseñarse arquitecturas que garanticen que las aplicaciones y el intercambio de datos sean interoperables sin dificultad, y que utilicen las normas y los protocolos más actualizados y verificados de intercambio de datos. Por ejemplo, YUPANA debería estar vinculado a la perfección con el SGE.
  - **Desarrollar y poner en práctica una nueva arquitectura de mercado**
    - Si se necesitan nuevas normas o reglamentos para el mercado en el Perú, puede ser necesaria una nueva arquitectura de mercado que haga hincapié en los servicios, la capacidad, la reserva y demás componentes del sistema. Los sistemas de mercado (actualmente, YUPANA) tendrán que estar bien diseñados y ser ampliables para adecuarse a sistemas futuros. Deben ser interoperables.
  - **Arquitectura del sistema energético del Perú**
    - Las arquitecturas independientes del COES pueden no ser suficientes para el sistema energético futuro del Perú. El sistema energético futuro podría incorporar la respuesta a la demanda, la congestión del sistema de distribución, los recursos energéticos distribuidos, el consumo del agua, la electrificación de la sociedad, el hidrógeno, la minería, etcétera. Algunas empresas avanzadas están intentando desarrollar una arquitectura completa para el sector energético de todo el país, en la que se muestre cómo fluyen los datos entre las entidades y donde las plataformas y aplicaciones se integren y cuyas funciones básicas sean interoperables.

3.5 Modelos y transmisión en continuo de datos

Datos: Modelos y transmisión en continuo

3.5.1 Factores generadores de cambio y visión del CCF

El pilar "Datos" del CCF es, desde luego, esencial para todos los aspectos de las operaciones del centro de control. Sin datos, no hay necesidad de contar con un centro de control. Se lo ve en la Figura 7 como producto de las arquitecturas, y fluye hacia las aplicaciones de *software* del centro de control. Entre ellas se encuentran el SGE, YUPANA y las herramientas de sala de control y de apoyo de ingeniería/planificación para operaciones, mediante una integración interoperable (que está vinculada al diseño de la arquitectura).

A los efectos del plan, los datos se clasifican en modelos de datos y datos de transmisión en continuo porque ambos elementos son intrínsecamente diferentes.

El modelo de datos debe ser una representación del sistema y de los atributos controlados por los operadores del sistema. Existen modelos dinámicos normalizados para generadores, cargas y dispositivos de red. Los mismos proveedores pueden determinar los parámetros de dichos modelos con base en información protegida de su propiedad. El modelo debe estar a cargo de un único equipo de expertos que trabaje de forma segura y que tenga amplia responsabilidad sobre la actualización de los datos del modelo en todas las entidades funcionales.

Los datos de transmisión en continuo son aquellos que llegan al centro de control en tiempo real desde objetos físicos del sistema. Tradicionalmente, se trató de datos provenientes del SCADA, pero desde hace poco tiempo, los operadores del sistema disponen de datos más granulares provenientes de unidades de medición de fasores y de activos de dispositivos electrónicos inteligentes de las subestaciones (si bien no se utilizan hoy en día en el Perú, en el futuro se los podría transmitir a través del protocolo 61850 de la Comisión Electrotécnica Internacional, CEI). En general, si bien estos datos pueden ser útiles, hay que considerar con cuidado cómo se organizan, gobiernan y estructuran, para mejorar la toma de decisiones y evitar la sobrecarga de información. La gestión de los datos de los modelos y de transmisión en continuo será el elemento clave para que puedan utilizarse técnicas de aprendizaje automático y de análisis de datos en el CCF.

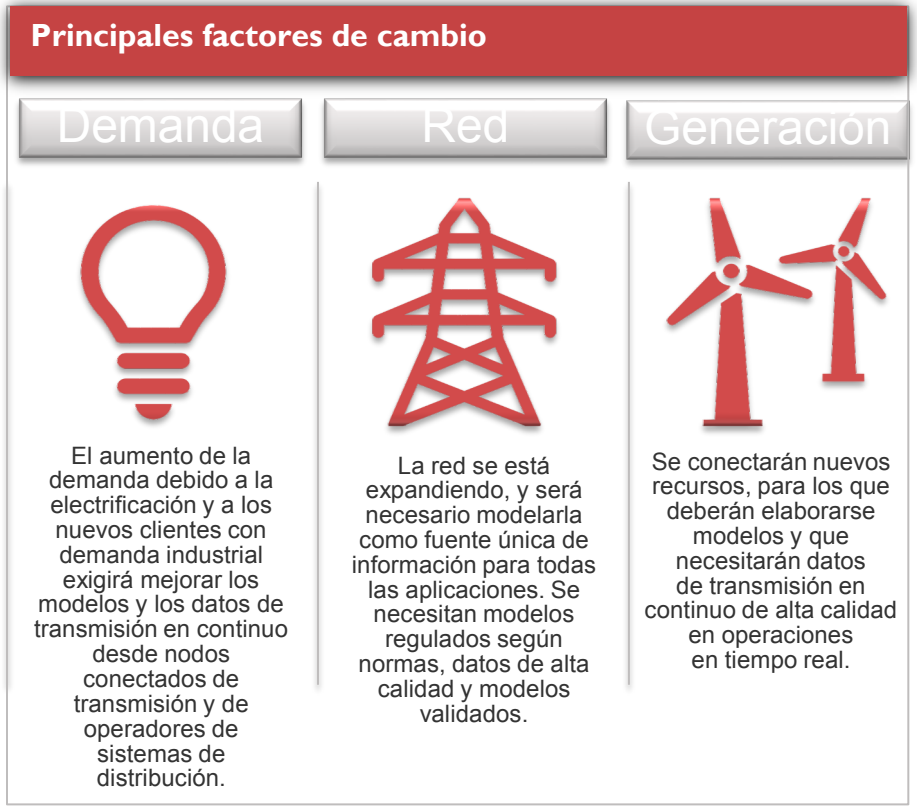


Figura 14. Principales factores de cambio del pilar "Modelos y transmisión en continuo de datos"

En un mundo ideal, habría un único modelo que utilizarían todas las entidades y que sería interoperable con todos los sistemas del CCF. Sin embargo, dado que los modelos nunca son perfectos, deben ser validados y actualizados periódicamente sobre la base de los acontecimientos del mundo real. La visión del CCF con respecto a los datos es ser la única fuente de información de datos del sector energético peruano, lo que se condice con la visión del COES de ser la referencia técnica del sector eléctrico peruano.

3.5.2 Sistemas actuales de elaboración de modelos del COES

Los procesos y sistemas de gestión de modelos de red actuales son descentralizados, están en diferentes formatos y requieren tareas especializadas e independientes de actualización de modelos, de validación y de recopilación de datos entre los sistemas más destacados. Existe un vínculo entre la Dirección de Operaciones y la de Planificación a través de la gestión de modelos en PowerFactory, si bien el módulo de Gestión Integrada de Redes de SGE es la principal herramienta de elaboración de modelos en Operaciones. El modelo de SGE alimenta de manera cíclica y automática a Organon y al proceso de costos marginales en tiempo real. Los modelos de PowerFactory se actualizan desde la Dirección de Planificación y YUPANA en la Dirección de Operaciones, lo que implica un cierto procesamiento manual.

El mantenimiento de los modelos en cada sistema de la organización del COES corre a cargo de un equipo específico que utiliza formatos diferentes y con distintos niveles de granularidad. Si bien la actualización de los modelos es secuencial, estos incluyen oportunidades de integración, con el objetivo de normalizarlos y centralizarlos.

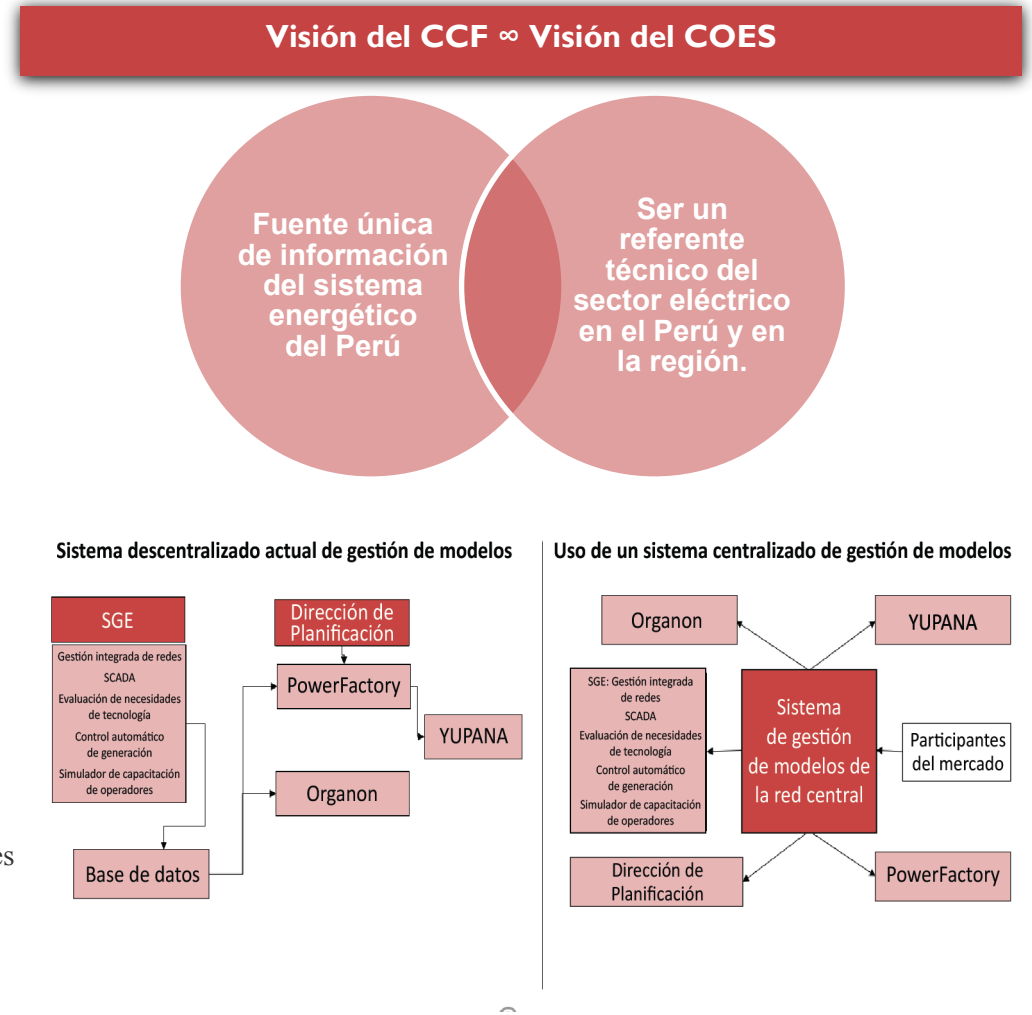


Figura 15. Visión de los modelos de datos en el CCF del COES, pasando de un sistema descentralizado a uno centralizado

3.5.3 Gestión de modelos de red del CCF

Un sistema centralizado de gestión de modelos tiene un único modelo base del sistema que alimenta a todos los sistemas radiales que requieren datos del modelo para su análisis. Está normalizado según el Modelo de Información Común y puede funcionar como un registro de activos o un sistema de información geográfica. Utiliza variaciones del sistema base para actualizaciones futuras o previstas. Utilizar un solo modelo gestionado por un único equipo de expertos en elaboración de modelos y que abastezca a todos los demás sistemas tiene ventajas evidentes para la exactitud de las operaciones del sistema y para reducir los errores. El gestor de modelos integrado del SCADA del SGE puede servir de sistema central de gestión de modelos, al igual que el gestor de modelos de PowerFactory.

3.5.4 Requisitos operativos para la elaboración de modelos y la transmisión de datos en el CCF

Para garantizar que los datos se utilicen de manera óptima con el fin de posibilitar el funcionamiento del SGE, del sistema de gestión de YUPANA/mercado y de las herramientas centro de control y de apoyo para operaciones, los modelos y los datos de transmisión en continuo deben tener las siguientes características:

- Estructurados
- Centralizados
- Normalizados
- Documentados
- Validados
- De alta calidad
- Confiables y resistentes
- Disponibles y accesibles

Si se trabaja para estructurar los datos y modelos operativos de esta manera, se simplificará el proceso de integración de nuevas herramientas. Disponer de un sistema de depósito central para gestionar modelos de red será eficaz desde el punto de vista de los recursos humanos, y debería eliminar los errores.

2021	2026	2030
• Múltiples sistemas y entidades de gestión y mantenimiento de modelos de red.	• Desarrollo de una arquitectura para la gestión de datos y modelos de red. • Todos los datos de operaciones están en formato estructurado para que los utilicen las herramientas del centro de control.	• Gemelo digital del sector energético del Perú. Líder en prácticas de gestión de datos. • Todos los datos necesarios de transmisión en continuo y en tiempo real están disponibles para las partes externas desde un portal central.

Figura 16. Requisitos operativos hasta 2030 correspondientes al pilar de datos del CCF

Estructurar los datos y facilitar el acceso a ellos hará que, en el futuro, sea más fácil emplear técnicas de aprendizaje automático para resolver problemas del sistema.

Mediante el desarrollo de un enfoque estándar, competencias y tecnologías para gestionar los datos del sistema de transmisión con propietarios y operadores de transmisión, el COES será el líder del sector energético peruano en excelencia de gestión de datos y estará en vías de desarrollar un gemelo digital del sector energético del Perú.

3.5.5 El valor de desarrollar y mejorar el pilar de gestión de datos

Desarrollar la capacidad de datos de modelos y de transmisión en continuo para el funcionamiento y el centro de control permitirá optimizar los recursos humanos, eliminar las duplicaciones y garantizar la exactitud en todos los sistemas. Los datos del sistema pueden validarse, de modo que se gana confianza en la exactitud del modelo y de sus herramientas para el análisis de la estabilidad.

Poner a disposición los datos pertinentes será valioso para la comunidad energética del Perú y para la economía en general.

Ello permitirá que las empresas se establezcan sobre la base de los mejores datos disponibles y que los participantes del mercado tomen las decisiones más ventajosas para la inversión, el mantenimiento y la expansión.

3.5.6 Riesgos de desarrollar y mejorar la capacidad de gestión de datos

Los riesgos relacionados con desarrollar y mejorar la capacidad de gestión de datos se muestran en la Figura 17. Los riesgos más importantes que deben tenerse en cuenta y abordar son la exactitud de los datos, la asignación de recursos y la ciberseguridad.

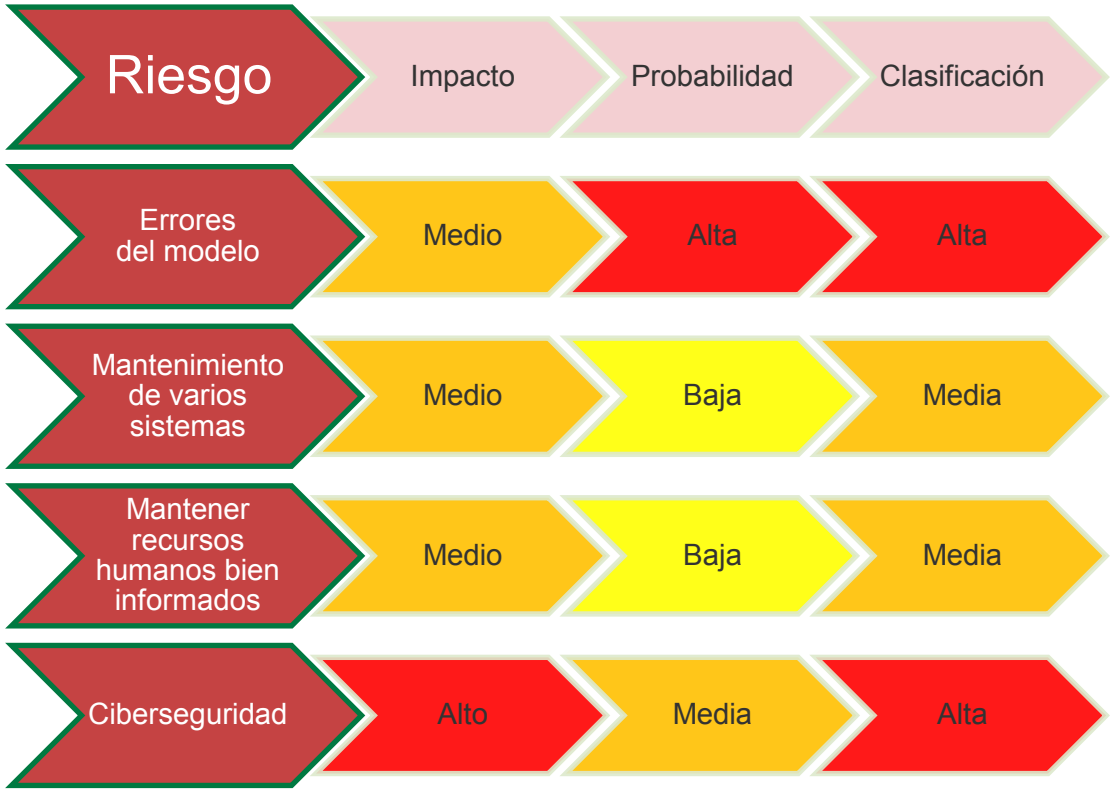


Figura 17. Registro de los riesgos de desarrollar y mejorar la capacidad de gestión de datos

3.5.7 Plan para la gestión de datos del CCF

MODELOS Y TRANSMISIÓN EN CONTINUO DE DATOS DEL CENTRO DE CONTROL DEL FUTURO

	2021 **Etapa 1**	*Probable* **Etapa 1**	2026 **Etapa 3**	*Posible* **Etapa 4**	De 2030 en adelante **Etapa 5**
Modelos de datos	Evaluación del inventario de todos los modelos del COES. Asignación de los flujos de datos.	La gobernanza de datos de modelos y las responsabilidades de gestión están disponibles y en uso. Evaluaciones de la calidad de los datos de los modelos con base en el sistema de simulación existente.	Se diseñaron la arquitectura de datos y el sistema de gestión de modelos de red.	Sistema de gestión de modelos de red en uso para todas las aplicaciones. Involucrar a otras empresas del sector energético y a los participantes del mercado.	Modelo de gemelo digital del sector energético peruano. **Situación en el futuro:** Fuente única de información de datos del sistema energético
Transmisión en continuo de datos	Inventario y metadatos de todos los datos de transmisión en continuo del centro de control y de operaciones.	La gobernanza de datos de transmisión en continuo y las responsabilidades con respecto a su archivado están disponibles y en uso. Evaluaciones sobre la calidad de los datos, mejoras necesarias. Controles de calidad de datos disponibles y en uso.	Centro de datos interno con todos los datos de transmisión en continuo archivados. Estructurado para análisis, análisis de datos y aprendizaje automático.	Las herramientas de la sala de control utilizan como norma técnicas de inteligencia artificial/aprendizaje automático con un archivo completo de datos de operaciones para capacitación.	Centro de datos externo para datos de transmisión en continuo para empresas, partes interesadas e investigación.

Revisión

Figura 18. Plan para el pilar "Datos" del CCF

3.5.8 Cómo hacer realidad el plan: Programa de puesta en práctica

Los proyectos que se llevarán a cabo como parte de los modelos y de la transmisión de datos serán dirigidos principalmente por la competencia y la Dirección de TI, y tendrán la orientación que estas determinen; a su vez, estarán vinculados al desarrollo de la arquitectura de datos, que se detalló con anterioridad.

Las direcciones de ingeniería de operaciones y de planificación deben hacer un amplio aporte a la arquitectura y al diseño de los datos, según sea necesario.

En la última parte de la década —suponiendo que se haya alcanzado la etapa 3 y que el COES tenga una gobernanza, prácticas y tecnología líderes en el sector que se empleen para gestionar sus modelos y sus datos—, se recomienda trabajar en colaboración con el sector energético y eléctrico del Perú en general, para alinear los datos y los modelos, y crear un gemelo digital completo del sistema peruano.

Eso permitirá que las partes interesadas externas accedan a los datos pertinentes más actualizados, tomen decisiones comerciales y fomenten la inversión en el sector energético.

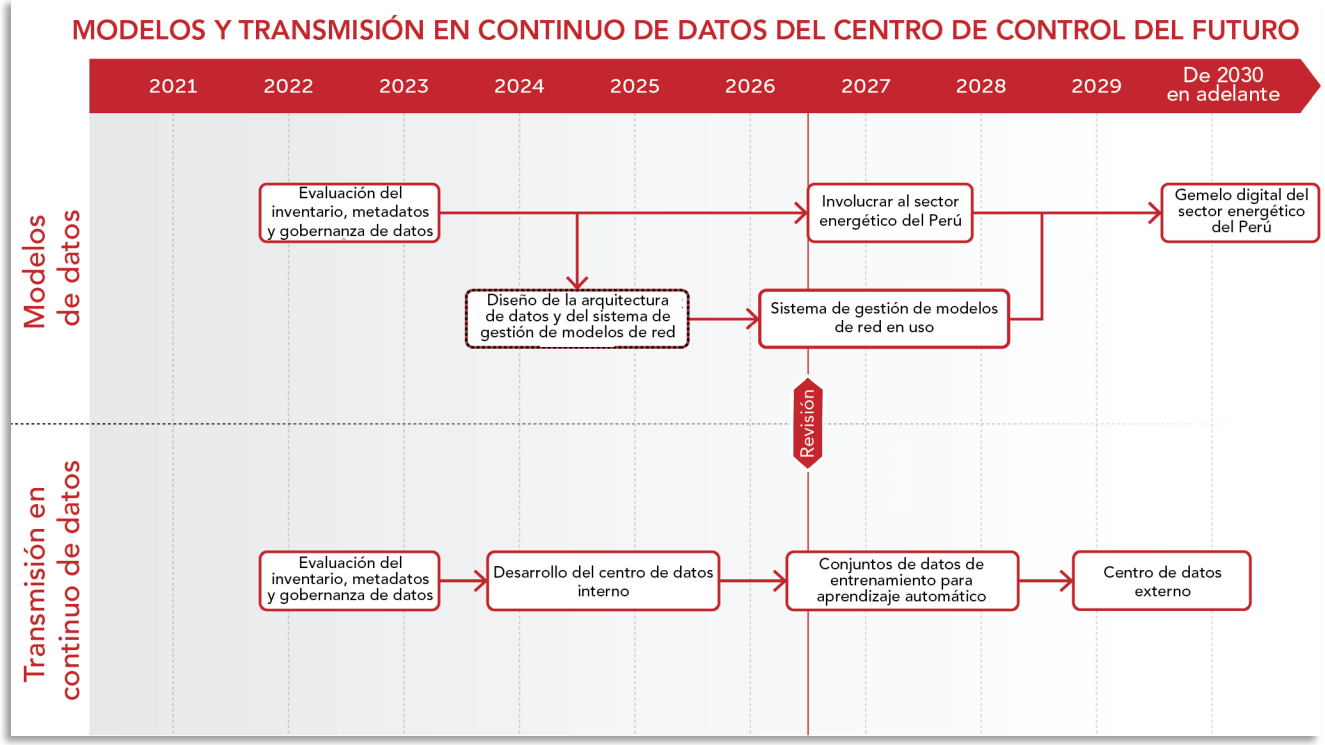


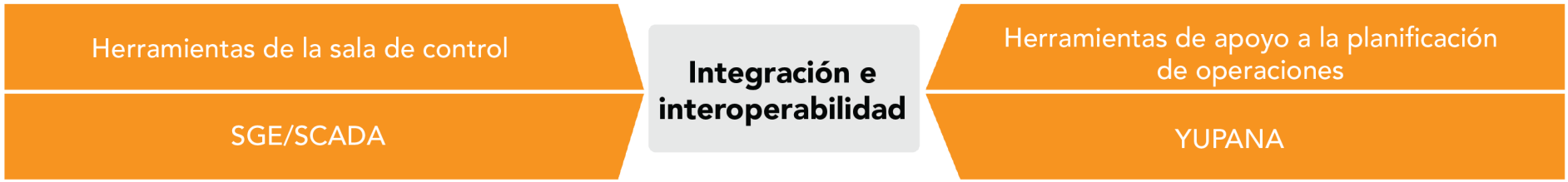
Figura 19. Plan y programa de puesta en práctica del pilar "Datos"

3.5.9 Acciones clave

- **Modelos de datos**
  - **Evaluación del inventario, de los metadatos y de la gobernanza:** Evaluación del inventario de todos los modelos del COES y asignación de todos los flujos de datos (evaluaciones de la calidad de los datos de los modelos basadas en el sistema de simulación existente).
  - **Diseño de la arquitectura de datos y del sistema de gestión de modelos de red:** Se deben completar el diseño de la arquitectura de datos y del sistema de gestión de modelos de red.
  - **Sistema de gestión de modelos de red (GMR) puesto en práctica:** Puesta en marcha del sistema de gestión de modelos de red para todas las aplicaciones.
  - **Participación del sector energético del Perú:** Las empresas del sector y otros miembros del mercado eléctrico participan de la GMR.
  - **Gemelo digital del sector energético del Perú:** Un modelo de simulador de alta fidelidad (gemelo digital) funciona en paralelo con el sistema de control real y permite hacer verificaciones avanzadas para asegurarse de que ningún cambio afecte al suministro eléctrico peruano.

- **Transmisión en continuo de datos**
  - **Evaluación del inventario, metadatos y gobernanza:** Una evaluación del inventario y los metadatos de todos los datos transferidos en el centro de control y en las operaciones (evaluaciones de la calidad de datos).
  - **Desarrollo de centros de datos internos:** Un centro de datos interno con todos los datos de transmisión en continuo archivados y estructurados para el análisis, análisis de datos y aprendizaje automático.
  - **Conjuntos de datos de entrenamiento de aprendizaje automático:** Herramientas de la sala de control que utilizan como normas técnicas de inteligencia artificial / aprendizaje automático.
  - **Centro de datos externo:** Un centro de datos externo para transmitir datos a las empresas y las partes interesadas.

3.6 Herramientas del centro de control



El sistema SGE/SCADA es una pieza clave de todas las salas de control del mundo. SGE/SCADA son sistemas “monolíticos”. El COES dispone de un sistema Siemens Spectrum 7. Los proveedores del SGE/SCADA tienen su propios planes de producto en los que incorporan sus propias actividades de investigación y desarrollo. No están disponibles para la industria y la comunidad en general debido a restricciones de propiedad intelectual. Los SGE/SCADA suelen estar en funcionamiento durante al menos cinco años antes de que sea necesario actualizarlos o reemplazarlos, lo que implica proyectos considerables de tecnología de la información y de la comunicación que exigen muchos recursos.

Para el CCF, el **SGE/SCADA** debe ser interoperable con las demás herramientas del CCF, las herramientas de apoyo a la planificación de operaciones y el sistema de gestión de comercialización YUPANA. Esto debería ser posible principalmente mediante las normas de intercambio de datos regidas por el Modelo de Información Común.

El **sistema de gestión del mercado del COES es YUPANA** y determina el costo de la energía, la selección y asignación eficiente de las unidades generadoras, y el despacho de energía en tiempo real. Funciona en coordinación con la herramienta PowerFactory para realizar el despacho económico con restricciones de seguridad, para ejecutar el análisis de seguridad N-1 en el despacho preliminar y para determinar el despacho final de energía. Las instrucciones de despacho a los generadores son emitidas por la función de control automático de la generación, incorporada en el sistema SCADA. YUPANA será una solución duradera para los sistemas de mercado del COES, pero se le harán algunas mejoras a lo largo de la década para hacer lugar a los cambios de exigencias de la red y de la normativa.

En relación con el sistema de gestión del mercado y el SGE, se encuentran **las otras herramientas del centro de control**, que pueden no estar en el SGE o en YUPANA, pero que son esenciales para el funcionamiento del sistema. Pueden ser aplicaciones o plataformas de *software* o incluso *software* como servicio de proveedores externos. En general, se vinculan a través de conexiones de datos personalizadas con los datos del SGE o de YUPANA. Las herramientas del centro de control pueden incluir la optimización de la tensión, pronósticos sobre la demanda, pronósticos sobre las fuentes de energía renovable y un sistema de supervisión de área extensa, pero también aplicaciones de registro, gestión del personal y supervisión de activos. Algunas de estas pueden ser aplicaciones o módulos dentro del sistema SGE/SCADA y no tienen por qué constituir sistemas informáticos independientes. Las herramientas del centro de control necesarias para que el COES lleve a cabo sus procesos y tareas deben derivarse del modelo funcional y de capacidades que establece las funciones y procesos del CCF.

Los equipos de **planificación de operaciones** (a veces llamados de ingeniería de operaciones o de apoyo a las operaciones) del COES estudian la red dentro de un horizonte temporal más prolongado que los operadores del sistema en tiempo real, por lo general varias semanas o meses hacia el futuro. En su mayor parte, los ingenieros de estos equipos utilizan un conjunto similar pero menor de las herramientas que utilizan los operadores del centro de control, que trabajan en tiempo real. Las herramientas de apoyo a la planificación de las operaciones deben ser interoperables con las herramientas del centro de control, el SGE y YUPANA mediante un modelo coherente del sistema que se controla y con datos de transmisión en continuo que sean idénticos a los del sistema; por ejemplo, los cortes de suministro eléctrico deben estudiarse con pronósticos sobre la demanda y las energías renovables, y con cronogramas de mercado que estén lo más sincronizados posible con las operaciones en tiempo real.

3.6.1 Factores generadores de cambio y visión del CCF

Una vez desarrollada la arquitectura y los fundamentos de los datos, es necesario trabajar en las herramientas del centro de control para aprovechar las nuevas arquitecturas, modelos de datos y mejoras en los datos de transmisión en continuo.

Los centros de control se componen principalmente de aplicaciones informáticas y visualizaciones. Lo más importante es que los operadores que supervisan y controlan el sistema las 24 horas del día, los 365 días del año, las encuentren útiles y fáciles de usar.

Con el aumento de la demanda, la generación y la expansión de la red, las herramientas del centro de control tendrán que crecer para permitir un mayor grado de supervisión y control en las operaciones.

Habrá que mejorar la exactitud de los pronósticos, y será necesario adaptar otras herramientas informáticas al aumento de la demanda y de los recursos de generación, manteniendo al mismo tiempo la confiabilidad y la seguridad de la red.

Es probable que aparezcan nuevos fenómenos en el sistema a medida que este se amplíe, como problemas de estabilidad de la red, oscilaciones, nuevas congestiones, problemas de tensión y coordinación de protecciones. Esto requerirá un aumento de la capacidad de estudio y simulación en tiempo real para las evaluaciones de flujos de carga, cortocircuitos y estabilidad.

Estas herramientas tendrán que ser interoperables entre sí mediante la arquitectura y las normas de intercambio de datos.

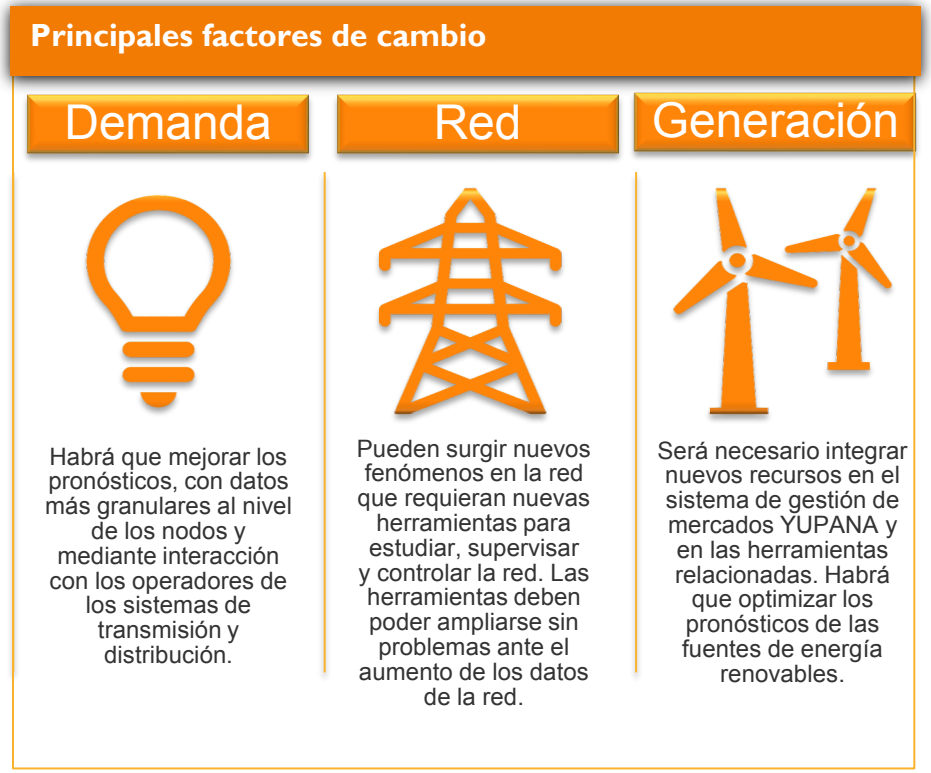


Figura 20. Principales factores de cambio del pilar "Herramientas del centro de control"

La visión es que las herramientas desarrolladas del centro de control, las herramientas de planificación de operaciones, SGE y YUPANA estén integradas, sean interoperables, compartan datos y modelos, y resuelvan los problemas del sistema en coordinación con los procesos de cada una.

También es necesario pasar a sistemas más automatizados para determinados procesos muy algorítmicos, como la elaboración de informes y registros, la programación de cortes de suministro eléctrico y el pronóstico de la demanda. Por ejemplo, las redes neuronales artificiales basadas en el aprendizaje automático son muy adecuadas para pronosticar la demanda, y con secuencias de comandos de automatización básicas puede tomarse información de diferentes bases de datos operativas y crear informes de manera automática, sin necesidad de que intervenga un operador.

3.6.2 Requisitos operativos de las herramientas del centro de control para el CCF

Los operadores necesitarán que las herramientas sean fáciles de usar e interpretar, estables, confiables y resistentes. Deben ser precisas y validarse periódicamente. Las herramientas deben estar alineadas con los procesos que se definen en los modelos funcionales y de capacidades, definidos con anterioridad, para que puedan ampliarse y adaptarse según sea necesario.

Lo ideal sería que todas las herramientas se coordinaran entre sí a la perfección. De ese modo, el sistema YUPANA debería funcionar fácilmente con el SGE y viceversa. El procesamiento manual (como la introducción de datos) debe eliminarse en la medida de lo posible.

Los datos de salida resultantes o su visualización deben consolidarse en un único panel para optimizar el conocimiento de la situación (esto se describe con más detalle más adelante en el pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones").

El COES ha demostrado tener gran capacidad de desarrollo de herramientas para el centro de control, incluidos el desarrollo de visualizaciones y la programación con Python. Este enfoque ofrece flexibilidad, eficiencia y menores costos. Si se opta por continuar con el desarrollo interno de ciertas herramientas para el CCF, no se debe subestimar la importancia de la seguridad, el control de calidad y los ciclos de actualización. En la actualidad, el COES está poniendo en práctica procesos relacionados con desarrollos de aplicaciones con Python, incorporando su ejecución con metodología de gestión y prácticas de programación.

Dada la profundidad y la cantidad de datos disponibles, el desarrollo y puesta en uso de las herramientas debería aprovechar en todo lo posible la informática en la nube y la computación de alto rendimiento. Para la segunda parte de la década, es posible que se utilicen nuevas aplicaciones de aprendizaje automático con ciertas herramientas.

Las 13 herramientas del centro de control (sin incluir el SGE ni YUPANA) se detallan en la **Tabla 1**. En esta tabla se documenta el conjunto actual de herramientas, las entradas, los resultados y la situación futura ideal. También identifica prioridades en el desarrollo de la herramienta, ya que tiene en cuenta la evolución del sistema del futuro.

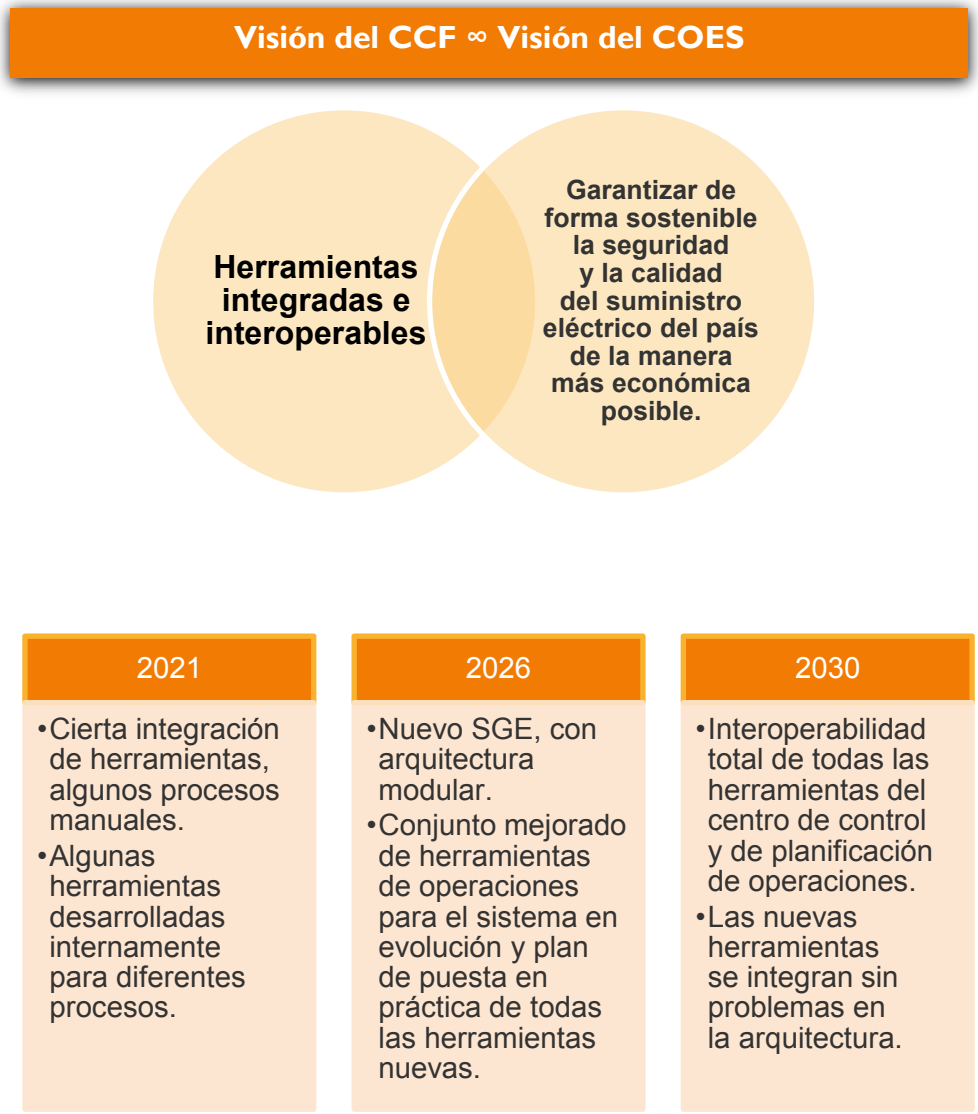


Figura 21. Requisitos operativos del pilar "Herramientas del centro de control" del CCF para 2030

3.6.3 Valor de desarrollar el pilar "Herramientas del centro de control"

El desarrollo y la mejora del SGE, de YUPANA y de las herramientas del centro de control deben conllevar una reducción de los errores, incluso con la expansión drástica del sistema.

Esos factores deben aumentar la confiabilidad y reducir el riesgo de que se produzcan grandes perturbaciones en el sistema, al disponer de una capacidad avanzada de pronóstico y de estudio, y en caso de que haya alteraciones, deben brindar sistemas adecuados para restablecer el servicio lo antes posible.

3.6.4 Riesgos de desarrollar y mejorar la capacidad de gestión de datos

Los riesgos relacionados con desarrollar y mejorar la capacidad de las herramientas del centro de control se muestran en la Figura 22. El riesgo más importante que hay que tener en cuenta y abordar es el de la integridad del sistema. Si las herramientas operativas y de los centros de control no se desarrollan de manera adecuada para el sistema de rápida expansión del futuro, habrá un mayor riesgo para la confiabilidad del sistema eléctrico.

Gran parte de la expansión documentada de la capacidad de las herramientas del centro de control está relacionada con la posibilidad de adaptarse a las nuevas dificultades del sistema que hoy en día no se observan, pero que es probable que surjan.

Figura 22. Registro de riesgos de desarrollar y mejorar las herramientas del centro de control

3.6.5 Plan sobre las herramientas del centro de control para el CCF

Tabla 1. Lista de 13 herramientas del centro de control para el CCF

Herramienta de planificación de la sala de control o de operaciones	Estado actual	Entradas	Salidas	Situación futura ideal	Prioridad
Herramienta de manejo de congestiones **(tiempo real y planificación de operaciones)**	YUPANA, PowerFactory Evaluación de necesidades de tecnología	Solución de determinación aproximada de estado, datos de mercado, pronósticos, datos del operador del sistema de distribución, puntos de ajuste de dispositivos.	Presenta en forma visual una solución para la congestión en los sistemas de transmisión y distribución. Visualización de la congestión y control automático de las mitigaciones propuestas.	Solución óptima y automatizada de control y flujo de energía con la red y redistribución de la carga en tiempo real y con proyecciones a futuro; mitiga la congestión en los sistemas de transmisión y distribución en función del costo y las probabilidades.	Alta
Herramienta de optimización de energía reactiva para el control de la tensión **(planificación de operaciones, tiempo real)**	PowerFactory, evaluación de necesidades de tecnología, flujo de energía óptimo	Solución de determinación aproximada de estado, datos de mercado, pronóstico de la demanda, pronósticos sobre fuentes de energía renovable, puntos de ajuste de los dispositivos.	Puntos de ajuste de tensión de todos los buses de la red en tiempo real y con proyecciones a futuro. Visualizaciones y capacidad de emitir comandos.	Una herramienta de control automatizada para optimizar y proyectar los puntos de ajuste de la tensión en función de las trayectorias pronosticadas y del costo del despacho de energía.	Media
Herramienta de análisis de la causa de las alarmas / de investigación de perturbaciones (tiempo real)	Panel de información de Grafana	Datos de alarmas de SCADA, datos sobre el estado de los activos, perturbaciones y registros anteriores, datos meteorológicos, etcétera.	Presenta visualmente un mensaje conciso que indica la causa de la perturbación con su mitigación.	Herramienta global para todos los datos que identifica al instante la causa de las alarmas y las perturbaciones, y dirige la atención del operador hacia los problemas y las soluciones. Es probable que utilice aprendizaje automático.	Baja

Herramienta de planificación de la sala de control o de operaciones	Estado actual	Entradas	Salidas	Situación futura ideal	Prioridad
Evaluación dinámica de la seguridad y calidad de la energía (incluida la tensión, la frecuencia, la inercia, las fluctuaciones transitorias y la estabilidad de pequeñas señales) **(tiempo real y planificación de operaciones)**	Organon, WAProtector	Solución de determinación aproximada de estado, modelo dinámico del sistema, pronósticos, sistema de gestión de área extensa. Modelo de sistema con fluctuaciones electromagnéticas transitorias.	Identifica visualmente la estabilidad, las oscilaciones y la seguridad en tiempo real, y es capaz de prever. Estudia las fluctuaciones transitorias en relación con la conmutación y controla la calidad de la energía.	Interoperable con todas las herramientas que ejecutan evaluaciones de estabilidad a futuro con propuestas de mitigación. Se integra con el panel de información. Estudios automatizados de transitorios de conmutación. Posibilidad de realizar acciones de control automatizadas. Enlace a la herramienta de evaluación de la resistencia del sistema. Enlace con el simulador de capacitación.	Media
Herramienta de evaluación de la resistencia del sistema	Evaluación de necesidades de tecnología	Solución de determinación aproximada de estado, plan de cortes de suministro eléctrico, datos de mercado, datos de pronóstico, simulador en tiempo real.	Evaluación visual de la resistencia actual del sistema en relación con los límites de la red. Algunas acciones de control propuestas.	Herramienta en línea para supervisar la resistencia del sistema en tiempo real y hacer proyecciones con base en datos de pronósticos, con potencial para control automático. Enlace a la herramienta de protección de evaluación dinámica de la estabilidad.	Media

Herramienta de planificación de la sala de control o de operaciones	Estado actual	Entradas	Salidas	Situación futura ideal	Prioridad
Herramienta de coordinación de protección, cortocircuitos y el Plan Especial de Protección (planificación de operaciones)	PowerFactory	Solución de determinación aproximada de estado, modelo de red de protección, datos de cortes de suministro eléctrico, datos de pronóstico, cronogramas de mercado, estado de los dispositivos del Plan Especial de Protección.	Evaluación visual que determina si la protección del sistema está coordinada en tiempo real, con respecto a los cortes de suministro eléctrico que se avecinan y a un horizonte de previsión.	Interoperable con el SGE, el panel de información y la herramienta de estado de los activos. Abastece a Organon para el análisis de la estabilidad de fluctuaciones transitorias y se coordina con las herramientas de resistencia del sistema y de manejo de congestiones.	Baja
Mejoras en el arranque en negro y en la restauración, incluidas las fuentes de energía renovable (tiempo real)	Ninguno	Modelo de determinación aproximada del estado, modelo de protección, datos de cortes de suministro eléctrico, cronogramas de mercado.	Herramienta para guiar los procesos de optimización de recursos y de arranque en negro, incluidos los procedimientos de restauración y las fuentes de energía renovable.	Herramienta en línea que funciona en caso de apagón o de un restablecimiento considerable del sistema, para guiar al operador durante el proceso.	Media
Pronóstico de la demanda (tiempo real)	Herramienta interna	Datos de demanda de archivo, datos meteorológicos, nivel de nodos, datos del operador del sistema de distribución.	Pronóstico de la demanda del sistema con intervalos de confianza para suministrar a todas las herramientas del centro de control.	Seguimiento continuo de la exactitud de los pronósticos, mejora continua de los pronósticos con metodologías y datos mejorados de clientes.	Alta

Herramienta de planificación de la sala de control o de operaciones	Estado actual	Entradas	Salidas	Situación futura ideal	Prioridad
Pronóstico de las energías renovables (tiempo real)	Ninguno	Datos meteorológicos, disponibilidad y ubicación de los generadores.	Pronósticos de las fuentes de energía renovable con intervalos de confianza para suministrar a todas las herramientas del centro de control.	Seguimiento continuo de la exactitud de los pronósticos y mejora continua de los algoritmos de pronóstico de penetración de las fuentes de energía renovable.	Alta
Equilibrio, despacho y control de la frecuencia de carga	Control automático de la generación en el SGE/SCADA. En la actualidad, la asignación de la reserva rotativa se optimiza junto con el despacho de energía hidrotérmica, y el sistema está preparado para la conexión con todos los generadores del SEIN.	Datos del mercado, estado de generadores, frecuencia.	Instrucciones continuas de despacho de energía a todos los participantes del mercado basadas en la producción del mercado.	Interacción con las CEV (centrales eléctricas virtuales) y los participantes del mercado en los operadores del sistema de distribución, según sea necesario.	Baja
Herramienta de reserva, incremento y flexibilidad (tiempo real)	Herramienta interna	Datos del mercado, estado de generadores, demanda.	Evaluación de las necesidades de incremento y de la capacidad del sistema	Integrado con YUPANA, el panel de información, el manejo de congestiones y Organon. La detección y las solicitudes de redistribución de la carga son automáticas para lograr mayor flexibilidad.	Media

Herramienta de planificación de la sala de control o de operaciones	Estado actual	Entradas	Salidas	Situación futura ideal	Prioridad
Gestión de cortes de suministro eléctrico, informes y gestión del personal	Herramientas internas aparte	Datos de cortes de suministro eléctrico, soluciones de determinación aproximada de estado, cronogramas de mercado, datos de sistemas de archivo, datos de campo.	Resultados de estudios y cronograma de cortes de suministro eléctrico con planes de conmutación. Aplicación de informes integrada con una herramienta para gestión del personal.	Estudio automatizado de cortes de suministro eléctrico a corto y largo plazo con distintas situaciones posibles realistas de mercado y de generación. Herramienta interoperable. Registro automatizado del personal de campo e informes automatizados de problemas del sistema; enlace con el panel de información.	Media
Pronóstico del medioambiente (incendios y meteorología)	Ninguno	Datos meteorológicos y de incendios procedentes de recursos disponibles al público.	Evaluación de las condiciones meteorológicas según la ubicación, integrada con datos del sistema y del mercado cuando esto sea posible.	Todos los datos meteorológicos están integrados con todas las herramientas del centro de control, con intervalos de confianza para los pronósticos. Manejo de congestiones, coordinación de la protección y herramientas de estabilidad.	Alta

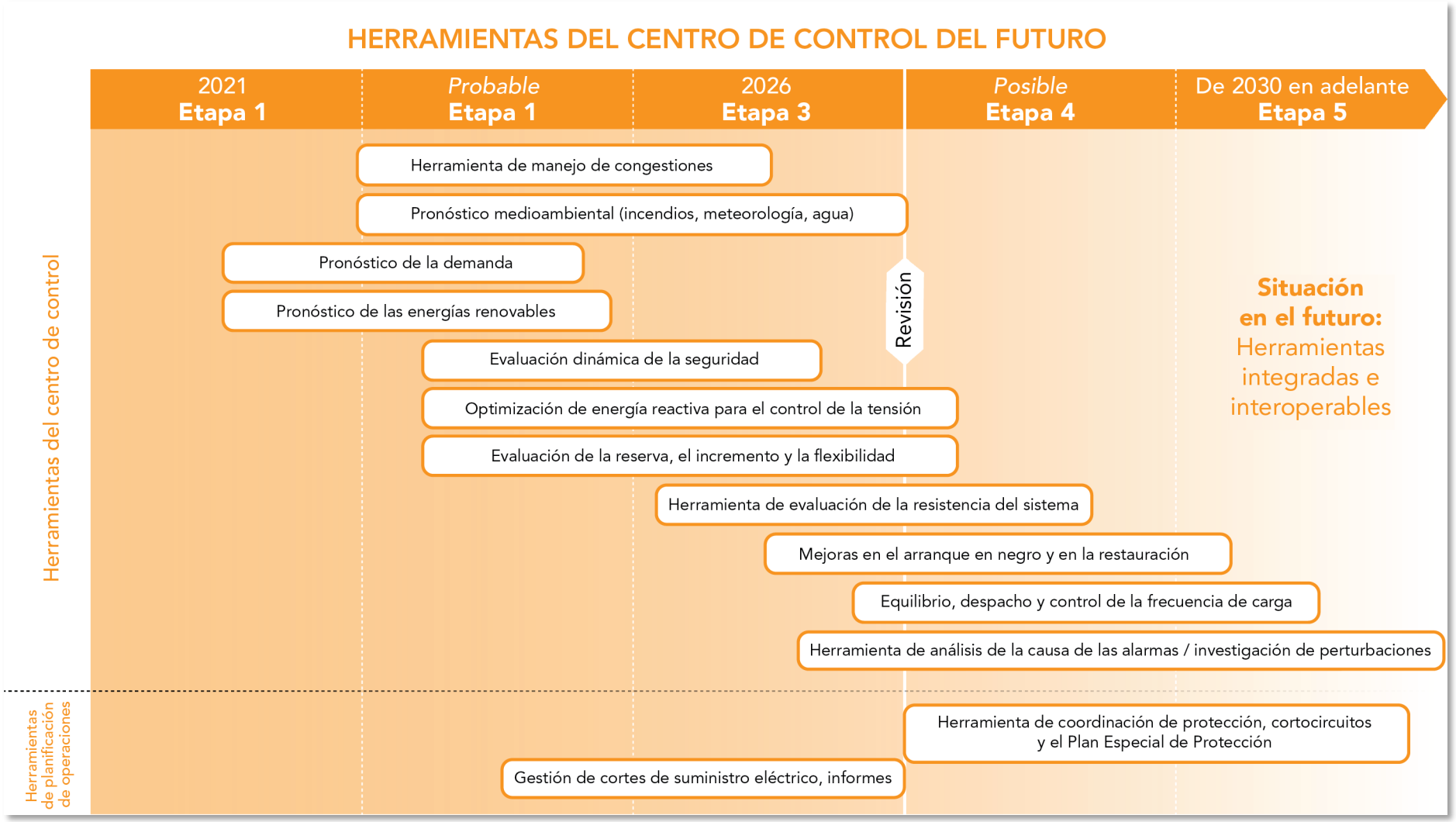


Figura 23. Plan para el desarrollo de las herramientas del centro de control y de planificación de operaciones para el CCF con base en la prioridad indicativa

SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA Y DE MERCADO DEL CENTRO DE CONTROL DEL FUTURO

	2021 **Etapa 1**	*Probable* **Etapa 1**	2026 **Etapa 3**	*Posible* **Etapa 4**	De 2030 en adelante **Etapa 5**
SGE/SCADA	Actualizaciones de los sistemas de ciberseguridad del SGE. Hay normas de gobernanza de datos y control de calidad disponibles y en uso para los nuevos sistemas.	Diseño de la licitación para el nuevo SGE actualizado. Obtención de recursos para el SGE.	El nuevo SGE se puso en práctica en consonancia con la nueva arquitectura de aplicaciones.	Integración del SGE con YUPANA y con todas las herramientas del centro de control.	El SGE y YUPANA son interoperables externamente con los sistemas y las plataformas de las partes interesadas. **Situación en el futuro:** Herramientas integradas e interoperables
YUPANA	Se ha examinado la arquitectura y la metodología de YUPANA para detectar falencias y los nuevos requisitos del nuevo sistema.	Diseño de la automatización de todas las tareas y procesos de YUPANA con el objetivo de que no haya procesamiento manual de datos.	Actualización de YUPANA según las nuevas normas del mercado, comercio flexible, servicios de sistemas, etcétera. Sistema totalmente automatizado, nueva plataforma de datos externa.	YUPANA y las herramientas del centro de control del SGE son completamente interoperables. Los datos del mercado están incorporados en todos los procesos de decisión del operador.	Rediseño del mercado, cooptimizado con gas, agua, transporte e hidrógeno para lograr un sistema energético descarbonizado.

Revisión

Figura 24. Plan para el desarrollo de las herramientas del SGE y YUPANA para el CCF

3.6.6 Cómo hacer realidad el plan: Programa de puesta en práctica

Los proyectos que se llevarán a cabo como parte de las herramientas del centro de control, SGE y YUPANA serán de gran envergadura, muy complejos y exigirán muchos recursos.

Se centrarán y dirigirán principalmente desde la Dirección de Operaciones del centro de control, con amplias aportaciones de la Dirección de Informática.

El desarrollo de las herramientas debe estar fuertemente vinculado con los avances en las arquitecturas y con los proyectos de mejora de los sistemas de datos.

En la Figura 25, se muestra el desarrollo de las herramientas del centro de control y de planificación de operaciones como un proceso continuo a lo largo de la década. Se los describe en la Figura 23 y la Tabla 1.

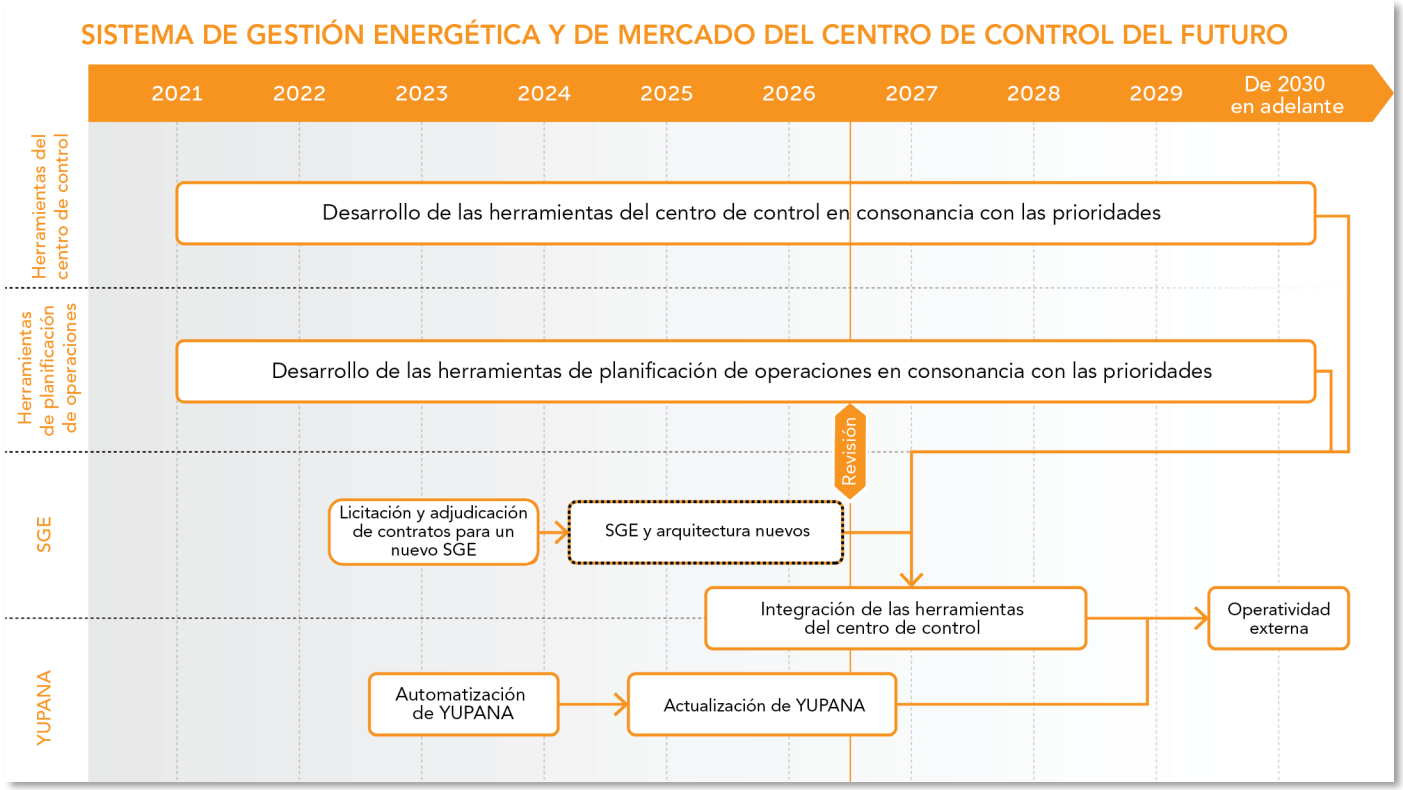


Figura 25. Plan y programa de puesta en práctica del pilar "Herramientas del centro de control"

3.6.7 Acciones clave

- **Herramientas del centro de control**
  - **Desarrollo de las herramientas del centro de control en consonancia con las prioridades:** Esta actividad debe llevarse a cabo hasta 2030 como mínimo. Contiene herramientas relacionadas con el funcionamiento en tiempo real y la planificación de operaciones, y debe estar en consonancia con los procesos y las prioridades del centro de control, así como con la arquitectura informática. La prioridad indicativa correspondiente al desarrollo de las herramientas del centro de control se muestra en la Figura 23.
- **Herramientas de planificación de operaciones**
  - **Desarrollo de las herramientas de planificación de operaciones en consonancia con las prioridades:** Esta actividad debe llevarse a cabo hasta 2030 como mínimo. Solo contiene herramientas de planificación cuyo objetivo es ser una entrada para la operación y que no tienen una versión que se pueda aplicar al centro de control. La prioridad indicativa correspondiente al desarrollo de las herramientas del centro de control se muestra en la Figura 23.
- **SGE**
  - **Licitación y adjudicación de contratos para un nuevo SGE:** Desarrollo de términos de referencia para la licitación y la adquisición de recursos para un nuevo SGE.
  - **SGE y arquitectura nuevos:** Un SGE nuevo implementado en consonancia con la nueva arquitectura de aplicaciones.
  - **Integración de las herramientas del centro de control:** Interoperabilidad e integración del nuevo SGE con las nuevas aplicaciones del centro de control.
  - **Operatividad externa:** Interoperabilidad del nuevo SGE y otras aplicaciones con las plataformas de empresas externas.
- **YUPANA**
  - **Automatización de YUPANA:** Esta actividad busca automatizar YUPANA para eliminar los procesos manuales. Esta automatización debe ir acompañada del diseño de una arquitectura que la haga posible.
  - **Actualización de YUPANA:** Actualización del *software* de YUPANA según las prioridades y los procesos del centro de control, y según las posibles nuevas normas del mercado de la electricidad.

3.7 Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones

3.7.1 Factores generadores de cambio y visión del CCF

La finalidad de este pilar polifacético es abarcar el control de los elementos del sistema eléctrico desde el centro de control futuro. Se basa en que gran parte del sistema eléctrico moderno se controla automáticamente, como la generación, la demanda, la reconexión de líneas aéreas y los planes especiales de protección. Se prevé que esta tendencia continúe en el futuro hasta el punto de que el control de todos los elementos del sistema eléctrico sea automático y los operadores probablemente solo intervengan cuando la automatización se interrumpa o para atender emergencias y sucesos importantes del sistema.

Los operadores exigen que las aplicaciones informáticas con las que interactúan cuenten con interfaces ágiles y optimizadas, y que la información se presente en el formato más claro, inequívoco y procesable. El diseño de la visualización debe normalizarse y seguir los procedimientos óptimos. Dado que el centro de control alberga enormes cantidades de datos analógicos y de alarma de transmisión en continuo procedentes de múltiples herramientas, presentarlos de forma clara y concisa para mejorar el conocimiento de la situación es un objetivo clave del plan para el CCF.

La visión ideal del CCF con respecto a este pilar es tener un control totalmente automatizado de todos los activos de la red y de los recursos de generación, y, de ser posible, de la respuesta a la demanda (mediante los operadores del sistema de distribución). Los operadores intervienen cuando es necesario si falla la automatización o si ocurre una emergencia. Por lo general, los operadores planifican el sistema basándose en pronósticos e intervienen cuando la automatización no funciona correctamente.

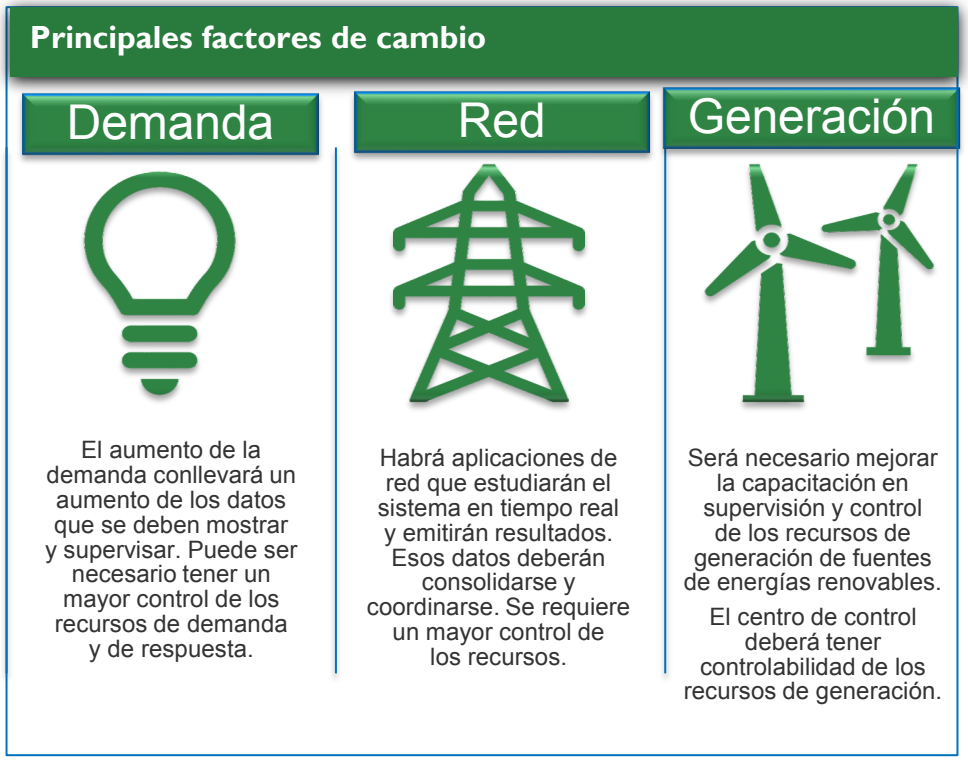


Figura 26. Principales factores de cambio del pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones"

Los operadores reciben una capacitación completa con certificación y actualizaciones periódicas sobre todas las herramientas del centro de control y sobre las diferentes situaciones en las que pueden tener que intervenir. Los operadores se sienten cómodos al evaluar los riesgos y conservan el conocimiento de la situación para evitar que vayan quedando al margen de lo que sucede en el sistema. Este es un riesgo común en aviación cuando, al emplear el piloto automático, se va deteriorando la capacidad de los pilotos de intervenir cuando el piloto automático funciona mal.

Para hacer posible esta visión, se introduce el concepto de hipervisión. La hipervisión es un concepto que canaliza de forma dinámica los datos provenientes de todas las herramientas del centro de control a una única interfaz de usuario que presenta acciones claras y concisas que el operador puede supervisar y pasar a controlar de manera manual y directa si es necesario. Fue desarrollada por la empresa RTE en Francia.[5]

El COES ha comenzado a desarrollar este concepto con un panel de información para el conocimiento de la situación basado en el entorno de Grafana y en la arquitectura del sistema de planificación e implementación, que será el primer paso de este plan para el desarrollo continuo.

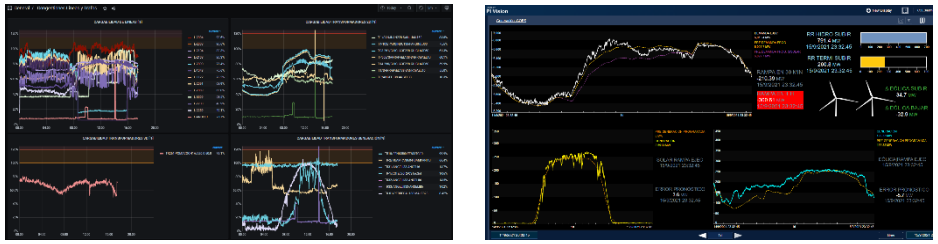


Figura 28. Panel de información actual del COES para el conocimiento de la situación

Figura 27. El concepto de hipervisión según lo desarrolló RTE en Francia

[5] Fuente: https://www.lfenergy.org/projects/operatorfabric/

3.7.2 Requisitos operativos de los factores humanos y el apoyo a la toma de decisiones en el CCF

Teniendo en cuenta la gama de herramientas nuevas y actualizadas para el centro de control, la planificación de operaciones que necesitará el CCF y el enorme aumento de la cantidad de datos, se deberá dar mucha importancia a los factores humanos relacionados con el CCF.

Los operadores del centro de control necesitarán lo siguiente:

- Datos de todas las herramientas del centro de control canalizados dinámicamente a una única interfaz de hipervisión.
- Apoyo a la toma de decisiones mejorado para identificar los problemas con antelación y mostrar su causa.
- Apoyo mejorado a la toma de decisiones para identificar acciones que mitiguen los problemas del sistema de la forma más rápida posible.
- Control automático de todos los dispositivos y recursos con respaldo manual para que el operador intervenga si la automatización se interrumpe.
- Capacitación adaptada a las herramientas y al paradigma de las operaciones automatizadas.

2021	2026	2030
• Procesos y control manuales. • El diseño y las interfaces del sistema no son homogéneos. • Capacitación sobre arranque en negro basada en situaciones hipotéticas posibles.	• La incertidumbre es uno de los factores en la toma de decisiones. • Panel de información único para todas las aplicaciones del centro de control. • Capacitación sobre intervención en emergencias.	• Hipervisión para las operaciones del sistema. • Sistemas con alto grado de automatización; el operador supervisa e interviene cuando es necesario. • Control total de todos los activos.

Figura 29. Requisitos operativos del pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones" del CCF para 2030

3.7.3 Valor de desarrollar y mejorar los factores humanos relacionados con los operadores y el apoyo a la toma de decisiones

El pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones" para los operadores del CCF será clave para la confiabilidad, pero también será valioso para el COES y el Estado peruano. La mejora del conocimiento de la situación debe conducir a una disminución de los errores del sistema y garantizar que los cortes de suministro eléctrico se resuelvan lo antes posible. Esto se complementará con una capacitación a medida en el CPO (comentada en la sección siguiente).

Los problemas del sistema se identificarán y categorizarán de forma proactiva con antelación, lo que reducirá la necesidad de que actúe el operador.

La mejora del control del sistema, desde los centros de control hasta todos los recursos, garantizará que el suministro se restablezca lo antes posible y que la energía se transmita por la red de forma óptima y de la manera más económica posible.

3.7.4 Riesgos de mejorar los factores humanos relacionados con los operadores y el apoyo a la toma de decisiones

Los riesgos relacionados con el desarrollo y la mejora de los factores humanos se muestran en la Figura 30.

El riesgo más importante que debe tenerse en cuenta gira en torno a la reducción del conocimiento de la situación o la sobrecarga de datos y la falta de capacitación.

Los principales componentes de la mitigación serán una interfaz de hipervisión bien diseñada y planes de capacitación, lo cual ayudará a aclarar las causas de los problemas y a optimizar el centro de control futuro.

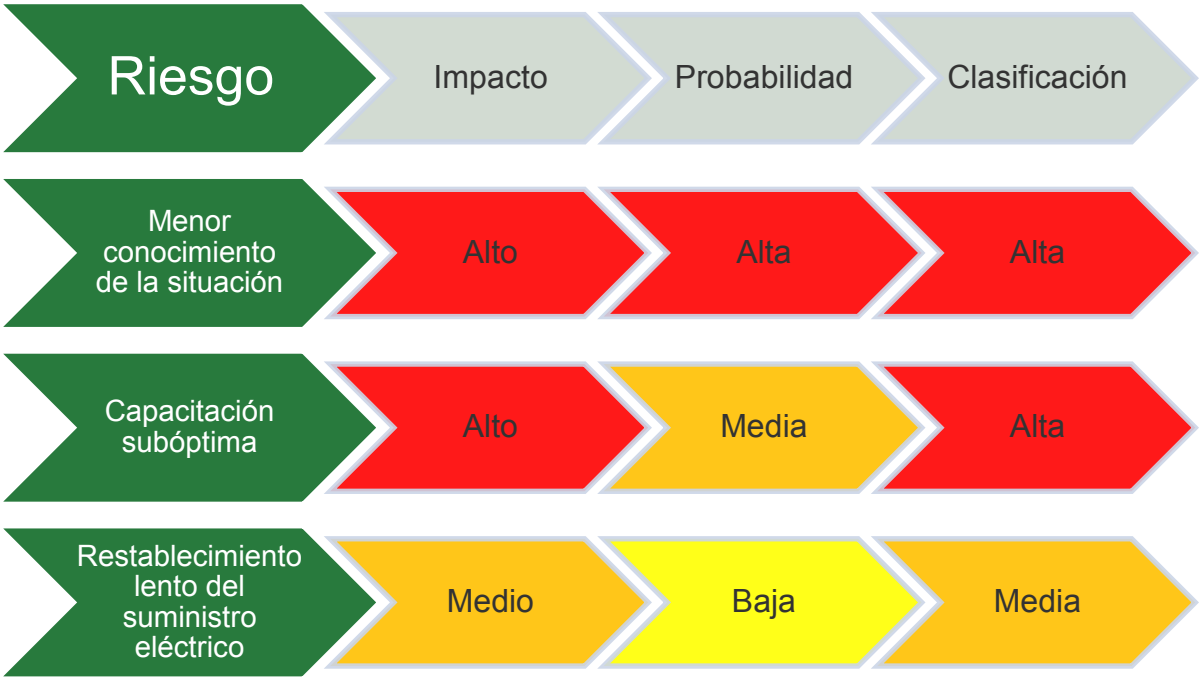


Figura 30. Registro de riesgos de desarrollar y mejorar el modelo funcional y de capacidades, y las arquitecturas

3.7.5 Plan para los factores humanos y el apoyo a la toma de decisiones del CCF

FACTORES HUMANOS Y APOYO A LA TOMA DE DECISIONES DEL CENTRO DE CONTROL DEL FUTURO

	2021 **Etapa 1**	*Probable* **Etapa 1**	2026 **Etapa 3**	*Posible* **Etapa 4**	De 2030 en adelante **Etapa 5**
Capacitación	Racionalizar la documentación y los procedimientos de capacitación.	Digitalizar los procedimientos y metodologías de capacitación. Programa de capacitación sobre todas las herramientas del centro de control.	Simulador del SGE mejorado con respuesta dinámica mejorada.	Integración de todas las herramientas del CCF con el centro de preparación para las operaciones.	Capacitación en diferentes situaciones posibles de distintos dominios en todo el sector energético.
Hipervisión	Panel de información inicial de Grafana para algunos indicadores clave de rendimiento.	Desarrollo de una filosofía de visualización de interfaz hombre-máquina para el SGE y para todas las herramientas del centro de control. Panel de información mejorado.	Codificación visual normalizada de la pantalla de la sala de control; todas las herramientas del centro de control están en el panel de información.	Desarrollo de la interfaz de hipervisión.	Cambio sin dificultades entre el control manual y el automático para todas las herramientas.
Apoyo a la toma de decisiones	Digitalización de todos los procedimientos y órdenes e instrucciones de trabajo.	Capacitación en incertidumbre, riesgo, probabilidad e intervenciones en casos de conocimiento insuficiente del sistema para todos los procesos de control.	Se ha identificado la causa de los problemas del sistema en todas las herramientas.	Acciones de mitigación para los problemas del sistema en todas las herramientas.	
Control de activos	Elaboración de modelos del Plan Especial de Protección y de reconexión en todas las herramientas.	Observabilidad plena de la totalidad de la transmisión, la generación y la demanda.	Controlabilidad y reconexión plenas de la totalidad de la transmisión, la generación y la demanda.	Controlabilidad inicial desde algunas herramientas del centro de control.	Controlabilidad plena desde todas las herramientas del centro de control.

Revisión

Situación en el futuro: Supervisores de sistemas automatizados

Figura 31. Plan para el pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones" del marco del CCF

3.7.6 Cómo hacer realidad el plan: Programa de puesta en práctica

El personal de operaciones y del centro de control será el eje principal de los proyectos que se llevarán a cabo como parte del pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones", y se encargará de dirigirlos, con el apoyo de los grupos responsables de desarrollar las herramientas del centro de control. Esto es en especial importante en relación con el desarrollo de la hipervisión.

El desarrollo del CPO como parte del pilar "Edificios, instalaciones y equipos" irá de la mano con el aspecto de la capacitación, ya que las herramientas del centro de control y el simulador de capacitación se integrarán sin dificultades en el CPO.

Las etapas del proyecto que son más importantes y que requieren más recursos son las relativas a las causas y la mitigación de los problemas del sistema y al desarrollo de la hipervisión. Los algoritmos de detección de causas se incluyen en el conjunto de herramientas del centro de control, y la hipervisión debe desarrollarse en consonancia con el desarrollo de dichas herramientas. Se prevé que esos avances tardarán mucho tiempo en ser operativos.

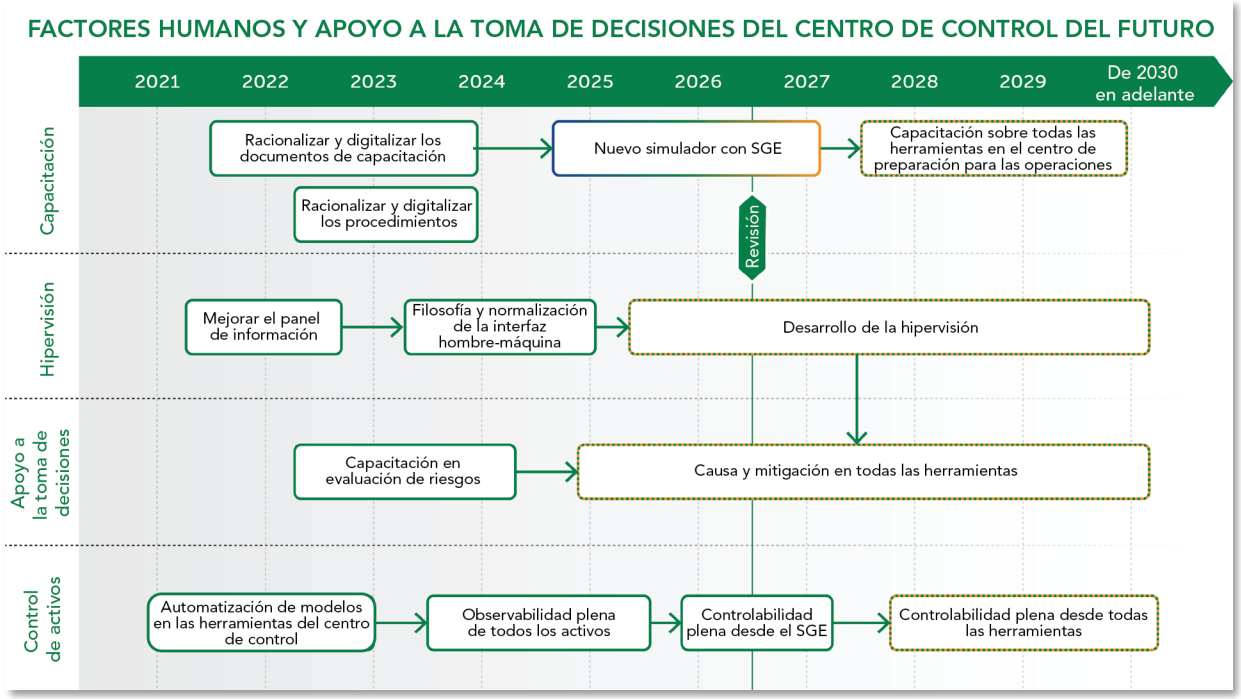


Figura 32. Plan de puesta en práctica del pilar "Factores humanos y apoyo a la toma de decisiones"

3.7.7 Acciones clave

- **Capacitación**
  - **Racionalizar y digitalizar los documentos de capacitación**: El objetivo principal de esta actividad es documentar los procesos de capacitación, con base en una visión de la gestión del conocimiento que sea sostenible en el tiempo.
  - **Nuevo simulador con SGE**: El objetivo principal de esta actividad es enriquecer las situaciones hipotéticas de capacitación con casos provenientes del SGE.
  - **Capacitación sobre todas las herramientas en el CPO**: Se busca ofrecer a los operadores una capacitación completa.
- **Hipervisión**
  - **Mejora del panel de información:** El objetivo principal de esta actividad es continuar desarrollando paneles de información orientados a los indicadores clave de rendimiento del centro de control.

- **Filosofía y normalización de las interfaces hombre-máquina:** Esta actividad sirve para que el COES determine las normas con las que se definirá el diseño, la puesta en práctica, el funcionamiento y el mantenimiento de las interfaces hombre-máquina.
- **Desarrollo de la hipervisión:** Esta actividad busca desarrollar la hipervisión, cuyo objetivo es construir paneles de información con un volumen de datos resumidos y procesados, que pueden incluir información geográfica y basada en tendencias de indicadores clave de rendimiento, con el fin de brindar un panorama integral del sistema eléctrico y sus procesos asociados.

- **Apoyo a la toma de decisiones**
  - **Capacitación en evaluación de riesgos:** Esta actividad consiste en proporcionar orientación sobre evaluación de riesgos a las herramientas del centro de control, con el objetivo de brindar apoyo a la toma de decisiones en tiempo real sobre la base de este concepto.
  - **Causa y mitigación en todas las herramientas:** Esta actividad implica brindar orientación para identificar el origen de las condiciones adversas en cada aplicación del centro de control siempre que sea posible.
- **Control de activos**
  - **Automatización de modelos en las herramientas del centro de control:** Se busca actualizar los modelos del centro de control de manera constante y automática.
  - **Posibilidad de observar por completo todos los activos:** Se busca que las herramientas del centro de control brinden una amplia capacidad de observación de los elementos del sistema eléctrico que se gestionan.
  - **Posibilidad de control total desde el SGE:** Se busca que los elementos del sistema eléctrico puedan controlarse por completo desde el sistema SGE/SCADA del operador nacional.
  - **Posibilidad de control total desde todas las herramientas:** Se busca que los elementos del sistema eléctrico puedan controlarse por completo desde las herramientas del operador nacional.

3.8 Edificios, instalaciones y equipos

Diseño de edificios e instalaciones

Equipos y ergonomía

Simulador / centro de preparación para las operaciones

3.8.1 Factores generadores de cambio y visión del CCF

Para cumplir con la visión y la ambición del CCF, la salida de las herramientas del centro de control necesita un entorno de simulador para las herramientas de prueba y para facilitar la capacitación de los operadores. En la actualidad, el COES —al igual que la mayoría de los centros de control— dispone de un simulador de capacitación para los operadores, pero se lo utiliza más que nada para capacitar a los operadores en tareas específicas, como el arranque en negro, y en general se lo infrautiliza para las actividades normales, a pesar de la importante inversión realizada.

En el CCF, todas las aplicaciones informáticas deben tener un entorno de simulador con un modelo inmaculado del sistema (un gemelo digital). Las instalaciones del simulador para capacitación de operadores deben mejorarse hasta convertirse en un **CPO** para lo siguiente:

- probar la aceptación de las herramientas informáticas por parte de los usuarios;
- capacitar a los operadores antes de poner en uso herramientas nuevas (por ejemplo, el SGE);
- probar nuevos diseños de interfaz de usuario;
- probar nuevos dispositivos y otras innovaciones de equipos;
- cumplir con su función principal de capacitar y examinar a los operadores;
- tener un entorno de simulador de estudio en tiempo real para las herramientas del centro de control;
- contar con un posible centro de control de reserva en caso de emergencia.

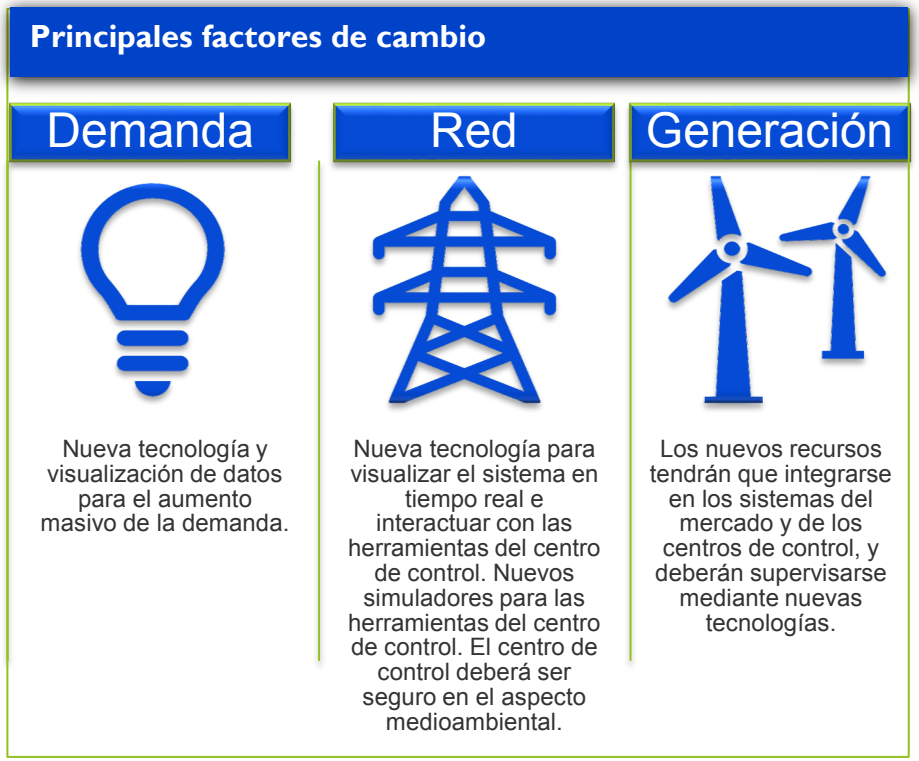


Figura 33. Principales factores de cambio del pilar "Edificios, instalaciones y equipos"

Es probable que ninguna de las metas del plan del CCF pueda alcanzarse sin un entorno de simulador eficaz para probar las nuevas herramientas y tecnologías, y capacitar a los operadores del futuro.

Para las salas de control del futuro, deberán actualizarse las ciberinstalaciones físicamente seguras que existen hoy en día. Las instalaciones deben ser resistentes a pandemias y grandes acontecimientos, e integrar las lecciones aprendidas en el diseño de instalaciones a partir de la pandemia de COVID-19. Las salas de control que funcionan con la misma huella de transmisión o que cuentan con funciones similares deben tener sistemas interactivos con video.

En la actualidad, los equipos del centro de control del COES son ergonómicos y están diseñados para brindar la máxima comodidad a los operadores, pensando en su salud, seguridad y bienestar las 24 horas del día, los 365 días del año. Hay mesas ajustables, pantallas, muros de video, *mouses*, teclados y pantallas de altura ajustable, entre otros dispositivos periféricos seleccionados según el mismo criterio de comodidad.

Se recomienda que los nuevos enfoques ergonómicos se prueben en el CPO antes de aplicarlos en la sala de control en tiempo real. Para el CCF, se recomienda que las actualizaciones se basen en la norma ISO 11064 para salas de control.

3.8.2 Requisitos operativos para edificios, instalaciones y equipos

Para garantizar que las nuevas herramientas de planificación del centro de control y de planificación de operaciones se integren sin dificultad y de manera interoperable, el CPO debe utilizarse de forma intensiva. Los edificios del centro de control deben ser lo más seguros posible tanto en el aspecto físico como en el virtual, de modo que se garantice que no haya riesgos para los operadores y el sistema. El CPO debe ser una réplica exacta del espacio del centro de control, con una infraestructura y capacidad informática equivalentes. Debe contar con un simulador o entornos de prueba para todas las herramientas informáticas.

Las consolas de escritorio deben estar dispuestas de forma ergonómica para maximizar la salud, la seguridad y la comodidad de los operadores. Cuando haya un caso de uso, deben introducirse innovaciones de tecnología visual y de equipos en el centro de control, luego de haberlas probado intensivamente en el CPO. Deben introducirse equipos para mejorar el conocimiento de la situación de los operadores y mejorar la supervisión y el control con el fin de complementar los demás pilares del marco del CCF.

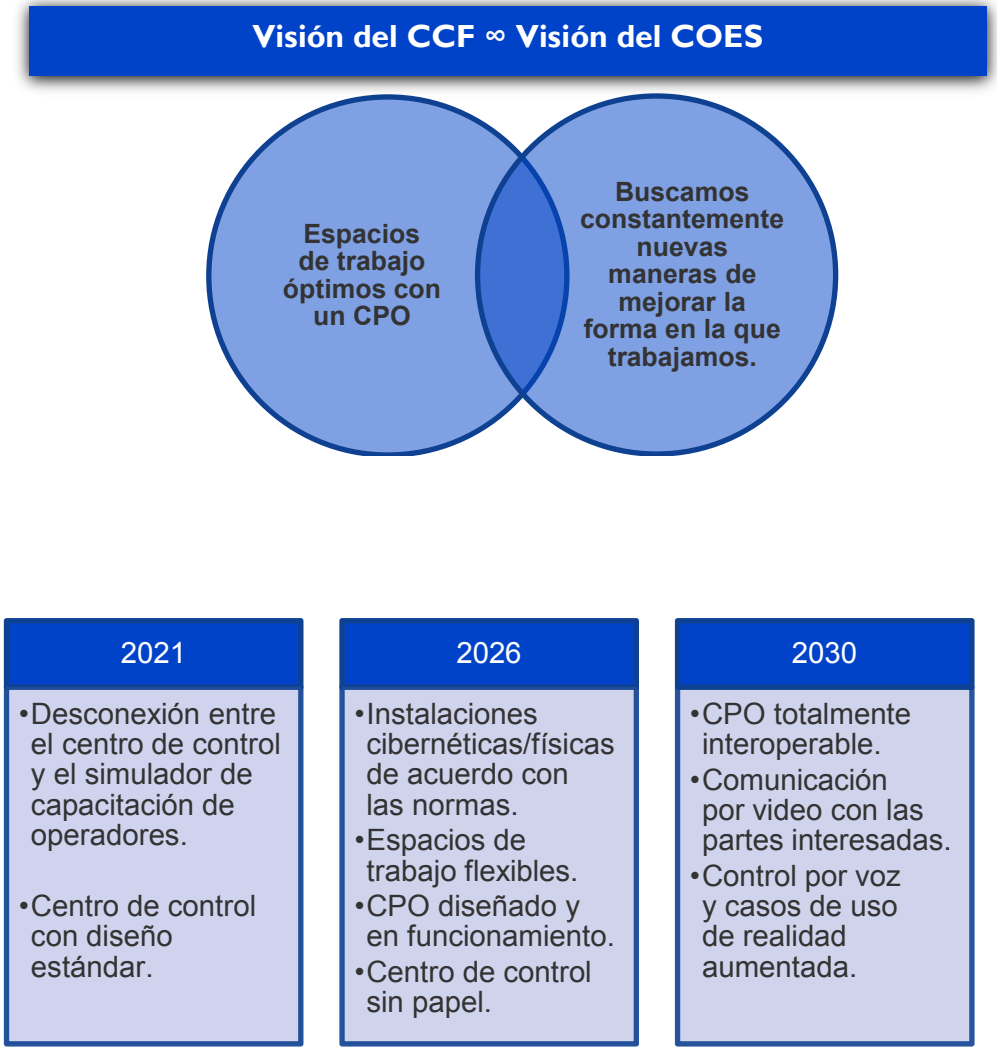


Figura 34. Requisitos operativos del pilar "Edificios, instalaciones y equipos" del CCF para 2030

3.8.3 El valor de desarrollar y mejorar un modelo funcional y las bases de la arquitectura

Desarrollar las instalaciones físicas y los equipos del centro de control permitirá a los operadores disponer de los espacios de trabajo más ergonómicos. De este modo, se garantiza que su salud y seguridad estén debidamente atendidas mientras llevan a cabo la estresante tarea de supervisar y controlar el sistema. El empleo de valiosas nuevas técnicas para digitalizar los documentos impresos en papel del centro de control y utilizar el control por voz resultarán muy valiosos en términos de eficiencia de los operadores, supervisión y creación de informes. Eso también debería mejorar el conocimiento de la situación, con la consiguiente mejora de la confiabilidad.

Gracias al desarrollo de un entorno de simulación eficaz con el nuevo CPO, las nuevas innovaciones que se necesiten en el CCF podrán probarse con los operadores antes de que se las utilice en tiempo real. Esto evitará el despilfarro de recursos y garantizará que el *software* sea adecuado para su propósito antes de llevarlo a la práctica en tiempo real. También será necesario mejorar la capacidad de estudio en tiempo real de las herramientas del centro de control; el CPO será el entorno óptimo para esto. Los equipos nuevos son costosos, tanto para adquirirlos como para mantenerlos en buen estado, por lo que contar con instalaciones de prueba para equipos nuevos garantizará que el capital se asigne del modo más eficaz.

3.8.4 Riesgos de desarrollar y mejorar los edificios, las instalaciones y los equipos del CCF

Los riesgos relacionados con el desarrollo y la mejora de los edificios, las instalaciones y los equipos se muestran en la Figura 35. El riesgo más importante que debe tenerse en cuenta y abordar es el de las vulneraciones de ciberseguridad y la salud y seguridad de los operadores.

Las herramientas del centro de control, el apoyo a la toma de decisiones, los datos y el diseño de la arquitectura del CCF deben complementarse con edificios, instalaciones y equipos bien diseñados.

Figura 35. Registro de riesgos de desarrollar y mejorar los edificios, las instalaciones y los equipos

3.8.5 Plan para los edificios, instalaciones y equipos del CCF

EDIFICIOS, INSTALACIONES Y EQUIPOS DEL CENTRO DE CONTROL DEL FUTURO

	2021 **Etapa 1**	*Probable* **Etapa 1**	2026 **Etapa 3**	*Posible* **Etapa 4**	De 2030 en adelante **Etapa 5**
Diseño de edificios e instalaciones	Instalaciones de respaldo y centros de datos redundantes.	Edificio e instalaciones completamente resistentes a pandemias. Espacios dinámicos y flexibles para alojamiento, reuniones, etcétera. Formulación de normas cibernéticas y físicas.	Uso de espacios de trabajo compartidos y de enlaces de video entre instalaciones. Aplicación de las normas de seguridad cibernética y física.	Integración de todas Integración perfecta en el centro de preparación para las operaciones. Experiencia de usuario común en todos los entornos.con el centro de preparación para las operaciones.	Uso de videos de espacios de trabajo compartidos para todos los actores del sector energético del Perú.
Centro de preparación para las operaciones	Simulador de capacitación de operadores actual. Desarrollo de entornos de prueba en simuladores para todas las herramientas de la sala de control.	Diseño de la arquitectura física e informática para el CPO, como parte de la integración perfecta con las instalaciones y las tecnologías de la información y la comunicación existentes.	Construir y poner en servicio el CPO. CPO utilizado para capacitación. Simulador mejorado con integraciones de dinámica y protección.	El CPO sirve de área de ensayo para realizar pruebas de aceptación de los usuarios con respecto a las nuevas herramientas y visualizaciones del centro de control.	CPO totalmente interoperable con todas las instalaciones y herramientas del CCF.
Equipos y ergonomía	Escritorios con ergonomía óptima aptos para trabajar de pie y sentado.	Pantallas para visualización de nivel 1, 2, 3 y 4. Interfaz de usuario de escritorio único (teclado/mouse) en entornos informáticos duales.	Centro de control sin papel. Sistemas de video interactivo. Interfaz única de telecomunicaciones, con gestión automatizada de las llamadas.	Interactividad de control por voz con aplicaciones y equipos. Las innovaciones de equipos se prueban en el CPO.	Casos de uso de realidad aumentada para visualización.

Revisión

Situación en el futuro: Espacios de trabajo óptimos con un centro de preparación para las operaciones

Figura 36. Plan para el pilar "Edificios, instalaciones y equipos" del CCF

3.8.6 Cómo llevar a cabo el plan y el programa de puesta en práctica

Los equipos y direcciones de infraestructura e instalaciones serán el eje principal de los proyectos que se llevarán a cabo en el marco del pilar "Edificios, instalaciones y equipos", y se encargarán de dirigirlos, con el apoyo de los equipos de operaciones, capacitación y centro de control. El diseño y la puesta en servicio del CPO también dependerán en gran medida de los expertos de informática.

En la última parte de la década, suponiendo que el COES cuente con gobernanza, metodologías y tecnología líderes en el sector, se recomienda comenzar a innovar en tecnologías como el control y la activación por voz y la realidad aumentada. Se prevé que esas tecnologías sean viables desde el punto de vista económico y que su uso comercial se extienda; a su vez, tienen muy buenas aplicaciones en las operaciones de los centros de control.

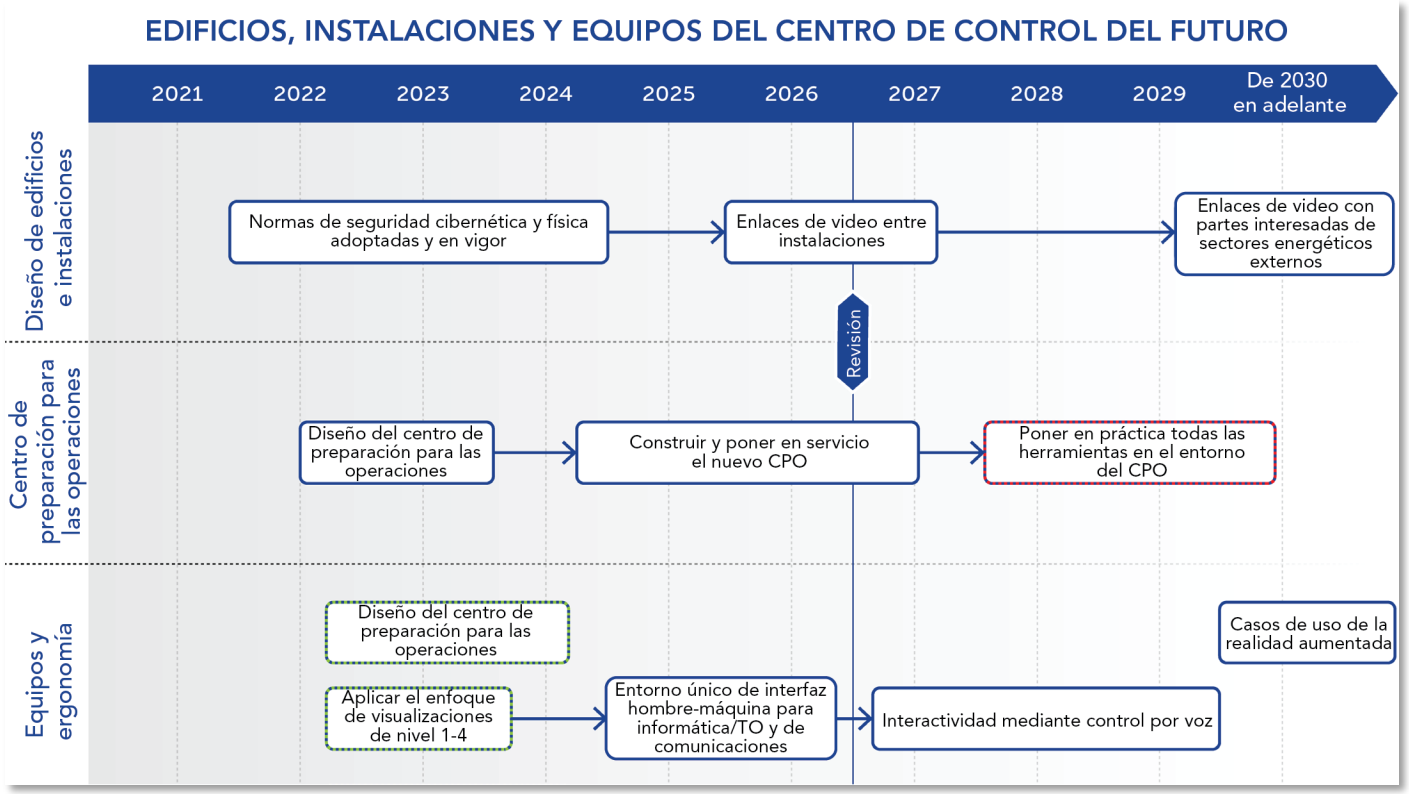


Figura 37. Programa de puesta en práctica del pilar "Edificios, instalaciones y equipos" del CCF

3.8.7 Acciones clave

- **Diseño de edificios e instalaciones**
  - **Adopción y puesta en práctica de normas de seguridad cibernética/física**
    - Garantizar la resistencia a los ciberataques y a los ataques físicos contra los edificios y los centros de datos e instalaciones relacionados.
  - **Enlaces de video entre instalaciones**
    - Para los centros de control que se comunican con frecuencia (por ejemplo, el centro de control del COES con los operadores propietarios de la transmisión o distribución), un enlace de video es una forma óptima de comunicarse y compartir la misma visualización del sistema que se controla. Esto es posible, pero rara vez se pone en práctica en las salas de control actuales.
  - **Enlaces de video con partes interesadas de sectores energéticos externos**
    - Si hay participantes del mercado u otras partes interesadas que necesitan dialogar acerca de resultados en tiempo real o del sistema de mercado, también es posible hacerlo mediante este proceso.
- **CPO**
  - **Diseño del CPO**
    - La construcción de un simulador avanzado o de un CPO puede exigir un diseño detallado para mejorar las instalaciones actuales o para construir unas nuevas si las actuales son inadecuadas. Eso incluye escritorios, equipos de informática/TO, pantallas, etcétera.
  - **Construir y poner en servicio el nuevo CPO**
    - Tras el diseño detallado, puede haber un largo proceso de construcción y puesta en servicio del nuevo CPO.
  - **Poner en práctica todas las herramientas en el entorno del CPO**
    - Para trasladar el entorno de pruebas del simulador de todas las herramientas del centro de control al nuevo CPO, se necesitarán tiempo y recursos. El nuevo CPO no será solo un simulador de capacitación de operadores/SGE, sino que incluirá versiones de todas las herramientas de informática/TO que se utilizarán en la sala de control.
- **Equipos y ergonomía**
  - **Digitalizar los procedimientos y lograr un entorno sin papel:**
    - Se digitalizan todos los procedimientos en papel por medio del escaneo o su introducción en un sistema de archivado de documentos para facilitar el acceso.
  - **Aplicación del enfoque de visualizaciones de nivel 1-4**
    - El nivel 1 es una visión global del sistema. El nivel 2 es una vista a nivel de función con indicadores clave de rendimiento (como la hipervisión), por lo general con una pantalla entre los monitores de escritorio y las grandes pantallas de los muros de video. El nivel 3 son los monitores de escritorio utilizados para las tareas de control. El nivel 4 son pantallas de diagnóstico de herramientas de informática y TO, como el SGE.

- **Interfaz única hombre-máquina de tecnología operativa/informática y entorno de comunicaciones**
  - Se dispone de un teclado y *mouse* para controlar tanto el entorno de informática como el de TO con pantallas combinadas. Los sistemas de informática y TO están en entornos de aplicación separados, pero las ventanas pueden combinarse y verse en una sola pantalla.
- **Interactividad mediante control por voz**
  - El control por voz o las herramientas de informática y TO del centro de control, por ejemplo, llamada y respuesta por parámetros del sistema, como la tensión y la frecuencia, y la función de búsqueda por voz de detalles e información dentro de los procedimientos técnicos y los documentos digitalizados.
- **Casos de uso de la realidad aumentada**
  - Existen investigaciones en curso que se encuentran en su etapa inicial acerca de los casos de uso de la realidad aumentada, la realidad mixta y la realidad virtual en los centros de control. Algunos de esos usos pueden ser la capacitación y la mejora de datos e imágenes.

4 Resumen

La visión del CCF descrita en el presente informe pretende situar al COES en la vanguardia de la innovación en materia de centros de control y capacidad operativa. Se trata de un plan ambicioso para 2030 y más adelante, y pretende fundamentar el desarrollo de la tecnología operativa y del centro de control en el contexto del rápido aumento de la generación, la demanda y el crecimiento de la red en la próxima década.

Este plan está estructurado en cinco áreas clave: arquitectura, datos, herramientas del centro de control, factores humanos y edificios y equipos, con 11 pilares clave de innovación dentro de cada área. Parte del marco incluyó el desarrollo de un posible rumbo hacia 2030 y más adelante, sin dejar de reconocer por ello la incertidumbre de las proyecciones de crecimiento. Los avances hasta la etapa 3 (aproximadamente para 2025) se consideran probables, mientras que los avances hasta 2030 se consideran posibles. Se recomienda revisar los planes y programas, dada la nueva información que habrá disponible después de etapa 3 o en 2025.

5 Recomendaciones

Las recomendaciones se formulan minuciosamente dentro de cada pilar y programa de puesta en práctica. A continuación, se incluye una lista de posibles primeros pasos para hacer realidad la visión del CCF:

- Establecer equipos de expertos para considerar este plan mediante su propia estructura (es decir, arquitectura, datos, herramientas, factores humanos y edificios y equipos). Cada equipo debe estudiar los planes de puesta en práctica y hacerles los ajustes que sean necesarios.
- Determinar el capital y los recursos humanos necesarios para cumplir con el plan en ciclos de 5 años. El plan debe revisarse en 2026 para evaluar el sistema del Perú y los progresos logrados.
- Se recomienda colaborar a través de todos los canales posibles con expertos externos, como proveedores, institutos de investigación y laboratorios, sobre la tecnología, las normas y los enfoques disponibles para resolver los problemas relacionados con el centro de control.
- Conviene evaluar y completar los aspectos de este plan relativos a 2021 y 2022. En su mayor parte, estos consisten en evaluar los estados y depósitos actuales, y hacer un inventario de ellos, lo que es posible que no demande grandes inversiones ni mucho trabajo de diseño. Se trata de elementos esenciales para las innovaciones posteriores.
- Sobre la base del presente plan y de los recursos necesarios, se recomienda elaborar un plan de ejecución detallado para hacer realidad la visión del CCF.