Revista Peruana de Energía N° 13
EDICIÓN 2026
Cuarta entrega



La rana en la olla energética. Seis brechas de ciencia, tecnología e innovación que el Perú no está viendo porque el agua ya está caliente

Jorge Benjamín Wong Kcomt

Consultor internacional con amplia experiencia en planeación energética, eficiencia industrial y Lean Six Sigma. Cuenta con formación avanzada (PhD, MSc y postdoctorado en MIT) y trayectoria en empresas globales como General Electric, Toyota y Medtronic. Ha asesorado al Banco Mundial y liderado proyectos y centros de investigación en el sector energético en EE. UU. También es profesor en la UNI y actualmente combina su experiencia técnica con la agricultura de precisión en La Libertad. Correo electrónico: jorgebwong@gmail.com

RESUMEN EJECUTIVO

El Perú posee uno de los potenciales energéticos renovables más extraordinarios del planeta y es el segundo productor mundial de cobre. Sin embargo, opera sobre una matriz de seis brechas estructurales en ciencia, tecnología e innovación (CTI) que silenciosamente bloquean toda posibilidad de ventaja competitiva sostenida en su sistema energético. Este artículo aplica el marco del Diamante de Porter para identificar, diagnosticar y jerarquizar esas brechas — y utiliza la fábula de la rana hervida no como metáfora decorativa, sino como herramienta epistemológica para entender por qué los mecanismos convencionales de alerta fallan.

La conclusión es estructuralmente inquietante: el Perú no carece de recursos ni de talento aislado; carece del **diseño institucional** que conecte ambos con la acción transformadora.

1. LA FÁBULA COMO EPISTEMOLOGÍA, NO COMO DECORACIÓN

Existe un experimento atribuido — aunque no siempre replicado con exactitud científica — a la biología del siglo XIX: una rana colocada en agua que se calienta muy lentamente no salta. No porque sea estúpida, sino porque su sistema nervioso está **calibrado para detectar cambios bruscos**, no gradientes lentos. El agua fría que se convierte en caldo lo hace fuera del umbral de detección del animal.

Esta fábula ha sido trivializada por décadas de uso corporativo. Se la invoca en presentaciones de PowerPoint como advertencia genérica al cambio. Y esa trivialización es parte del problema: al convertirla en cliché, le hemos extraído su contenido epistemológico más poderoso.

La pregunta que importa no es *¿por qué la rana no salta?* La pregunta que importa es: **¿qué tipo de fenómeno es invisible a los instrumentos de medición convencionales?**

El sistema energético peruano lleva décadas en agua que se calienta. Las alarmas convencionales — informes del MINEM, rankings de competitividad, estadísticas de cobertura eléctrica — miden temperatura puntual, no gradiente. Registran la foto, no la película. Y cuando la película tiene cámara lenta, la foto parece tranquila.

Este artículo no es otra alarma. Es un intento de cambiar el instrumento de medición.

2. EL MARCO: EL DIAMANTE DE PORTER COMO TERMÓMETRO

Michael Porter argumentó en *La Ventaja Competitiva de las Naciones* (1990) que la prosperidad nacional no se hereda — se construye. Los recursos naturales no son ventaja competitiva; son punto de partida. La ventaja sostenida surge de cuatro determinantes interrelacionados que él visualizó como un diamante:

Michael Porter argumentó en La Ventaja Competitiva de las Naciones (1990)

- **Factores avanzados:** capital humano especializado, infraestructura científica, conocimiento acumulado.
- **Condiciones de demanda:** exigencia interna que presiona a las empresas a innovar.
- **Industrias relacionadas y de soporte:** ecosistema de proveedores, servicios técnicos, consultoras especializadas.
- **Estrategia, estructura y rivalidad:** competencia interna que obliga al *upgrading* continuo.

Y un quinto elemento — el gobierno — cuyo rol no es producir ventaja sino presionar e impulsar el sistema para que la genere.

Aplicado al sistema energético peruano, el Diamante revela no un problema de recursos, sino de **arquitectura**. El Perú tiene el mineral, tiene el sol, tiene el agua, tiene el viento. Lo que no tiene es el sistema de relaciones entre actores que convierte esos recursos en ventaja tecnológica. A continuación, las seis fallas estructurales de ese sistema.

3. LAS SEIS BRECHAS CTI: DIAGNÓSTICO SISTÉMICO

- **Brecha 1 — I+D y Capital Humano: La ciencia energética que no existe**

El Perú invierte **menos del 0.13% de su PBI en investigación y desarrollo**, una de las ratios más baja de América Latina. La Política Nacional CTI 2030 (DS 093-2025-PCM), se propone llegar al 1%, lo cual implicaría multiplicar por ocho la inversión actual. En el subsector energético específicamente, no existe ningún instituto tecnológico de referencia equivalente al CIEMAT español, al INEEL mexicano, o al NREL estadounidense.

Los programas doctorales en energética operan con masa crítica insuficiente y sin vinculación contractual con empresas del sector. Los ingenieros energéticos más calificados se forman en el exterior y, con frecuencia, no regresan, o regresan sin ecosistema que absorba su conocimiento.

> **"La baja inversión actual limita el potencial de las instituciones educativas para contribuir significativamente al progreso científico y tecnológico del país."**
> — Infobae / UPN, noviembre 2024

Factor Porter afectado: Factores avanzados. Sin ingenieros energéticos especializados de nivel doctoral, sin laboratorios de medición y verificación, sin bases de datos energéticas nacionales con rigor estadístico, no hay ventaja competitiva posible, sino solo renta de recursos naturales que otros transforman.

La rana en la olla: La temperatura sube tan lentamente que cada promoción universitaria parece suficiente. Solo cuando se compara con la densidad de investigadores por millón de habitantes de Chile, Brasil o Colombia, se revela el abismo. Pero esa comparación no aparece en ningún indicador de gestión ministerial.

- **Brecha 2 — Minerales Críticos sin Cadena de Valor: El cobre que se va sin cerebro**

El Perú posee el **10.2% de las reservas globales de cobre** y es el segundo productor mundial. El cobre es el único mineral crítico presente en todas las tecnologías de energía limpia relevantes: vehículos eléctricos, solar fotovoltaica, eólica, redes inteligentes. La demanda global podría aumentar hasta 4.5 veces para 2050 según proyecciones del Departamento de Estado de EE.UU[1].

Sin embargo, el Perú exporta **concentrado de cobre**, la forma más primitiva y de menor valor agregado posible. No produce cátodos a escala suficiente. No fabrica cables de alta conducción. No ensambla componentes para turbinas ni motores eléctricos. No tiene una sola planta piloto de baterías de litio-cobre.

La CEPAL ha documentado que la inversión extranjera directa en minerales críticos puede fomentar encadenamientos hacia tecnología e innovación, pero solo si el marco institucional lo exige. El de Perú no lo exige. El memorando de entendimiento con EE.UU. (agosto 2024) para cadenas de suministro de minerales críticos no incluye transferencia tecnológica obligatoria.

Factor Porter afectado: **Industrias relacionadas y de soporte**. La ventaja competitiva en minerales críticos no es tener la mina; es tener la **metalurgia, la ingeniería de materiales, la química de baterías** que convierte el mineral en componente de la economía verde global.

[1] Global Environmental Change – Copper demand, supply, and associated energy use to 2050

La rana en la olla: Cada trimestre de exportaciones récord de cobre se percibe como éxito. La trampa es que ese éxito mide el volumen, no el escalamiento en la cadena de valor. La rana siente el agua tibia como placentera.

- **Brecha 3 — Fragmentación Sistémica: Eficiencia, electrificación y digitalización en silos**

La gestión energética peruana opera en compartimentos estancos: el MINEM regula generación y transmisión, el OSINERGMIN fiscaliza, el MEF controla el presupuesto de inversión, las municipalidades administran el alumbrado público, los gobiernos regionales ejecutan (mal) el canon. Ninguna entidad tiene mandato para **integrar** eficiencia energética, electrificación industrial y digitalización en una estrategia coherente.

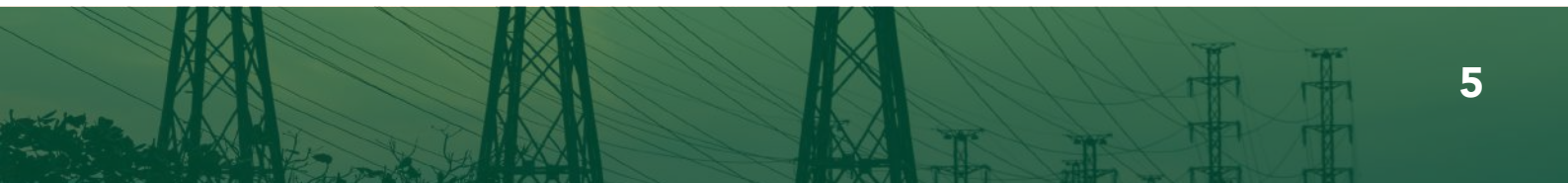
El resultado documentado: la eficiencia, la electrificación y la sostenibilidad se abordan como iniciativas independientes, en lugar de formar parte de una misma estrategia de largo plazo. Esta fragmentación limita el impacto de los esfuerzos realizados y retrasa la transición hacia un modelo energético más moderno, resiliente y sostenible.

Desde el Gemba — la auditoría industrial de campo —, esto se traduce en empresas que instalan paneles solares sin optimizar previamente la demanda, o que automatizan procesos sin instrumentar la energía, o que contratan consultoras de eficiencia sin conectar los hallazgos con decisiones de inversión en electrificación. El **Principio 0** — diseñar sin dependencia energética desde el origen — queda fuera del radar institucional.

Factor Porter afectado: Estrategia, estructura y rivalidad. La fragmentación elimina la presión competitiva interna que obliga a las empresas a integrar y optimizar. Sin un sistema que exija gestión energética integrada, las empresas hacen lo mínimo y lo hacen en silos.

- **Brecha 4 — Acceso Amazónico: 30% de comunidades rurales sin modelo tecnológico propio**

Más del **30% de las comunidades rurales amazónicas** carece de acceso a electricidad. El BID aprobó USD 200 millones para microrredes solares en la región. La cifra total estimada para cerrar la brecha de cobertura eléctrica amazónica supera los USD 1,300 millones. Paralelamente, más del 45% de los hogares peruanos aún utiliza combustibles contaminantes para cocinar o calentar agua.



El problema CTI no es el financiamiento. Es que **no existe un modelo tecnológico peruano** de microrred solar adaptado a la geografía amazónica, a los regímenes hidrológicos locales, a los modelos de gobernanza comunal (JASS, cooperativas), ni a las condiciones de mantenimiento con capacidades técnicas locales limitadas. Se importa tecnología sin adaptación local. Se instala sin transferencia de capacidades. Se mantiene (cuando se mantiene) con repuestos que no existen en la región.

Cada proyecto de electrificación rural que termina con paneles oxidados en una comunidad sin técnico local es una evidencia de esta brecha — pero se contabiliza como proyecto ejecutado, no como proyecto fallido.

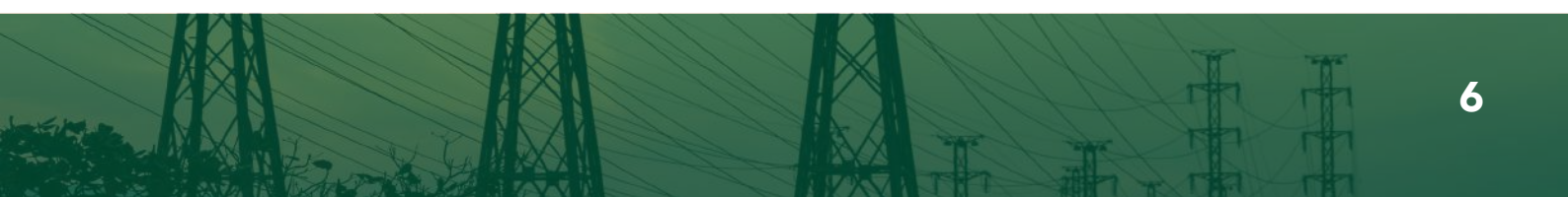
Factor Porter afectado: Condiciones de demanda. Las condiciones de demanda interna son la escuela de exigencia que presiona a las empresas a innovar. Si el Estado contrata soluciones importadas sin exigir adaptación local ni transferencia de conocimiento, nunca forma la industria CTI nacional que resuelve el problema de forma sostenible.

- **Brecha 5 — Ausencia de Arquitectura CTI-Energía: El director de orquesta que falta**

La Sociedad Nacional de Industrias identificó en diciembre 2025 como tarea urgente "*integrar la política energética con la política industrial e invertir en talento, ciencia e innovación tecnológica*". El CONCYTEC tiene entre sus prioridades la descentralización de la CTI y la articulación con el sector académico e industrial. El DS 093-2025-PCM aprueba la POLCTI al 2030 con mandato transversal.

El problema: **ninguno de estos mandatos "tiene dientes" en el sector energético**. No existe un equivalente peruano al CONACYT-Energía de México, al ANEEL de Brasil con brazo de innovación, ni al REN21 con mandato nacional vinculante. El CONCYTEC opera como entidad genérica de ciencia; no tiene capacidad técnica sectorial para energía, ni presupuesto dedicado, ni mecanismo de articulación con el MINEM.

La propuesta **CONSECE** (Consejo Nacional de Seguridad Energética y Competitividad Estratégica) con su brazo ejecutor **INICE** (Instituto Nacional de Innovación y Competitividad Energética) precisamente llena este vacío: un arquitecto institucional que conecte CTI con política energética, con cuatro niveles de alerta, con Fondo de Confiabilidad Sistémica, con mandato vinculante de planificación a largo plazo.



Factor Porter afectado: Rol del gobierno. Porter es explícito: el gobierno no debe *subsidiar, debe presionar e impulsar*. Eso requiere institucionalidad CTI con mandato sectorial específico, capacidad técnica instalada y mecanismos de accountability. Lo que tiene el Perú hoy es un paraguas normativo sin estructura que lo sostenga.

- **Brecha 6 — Modelo Mental Extractivista Aplicado al Conocimiento: La trampa más peligrosa**

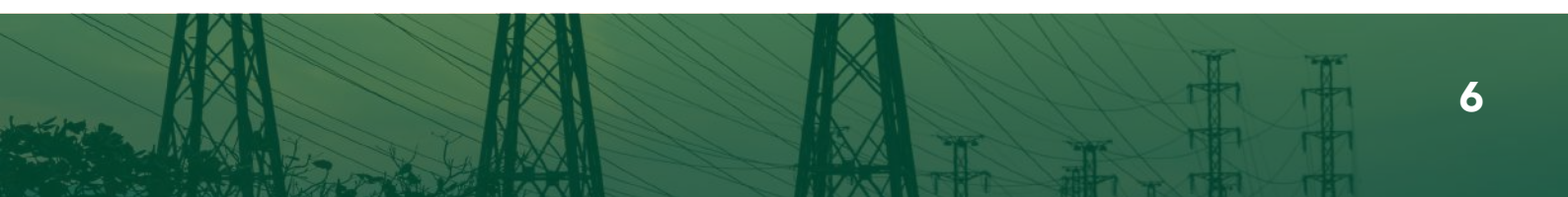
Esta es la brecha madre. Y la más difícil de ver porque está en el nivel de los supuestos, no de los datos.

El Perú trata el conocimiento tecnológico energético exactamente igual que trata al del cobre: **lo extrae del exterior, lo usa, y no lo reproduce localmente**. Las auditorías energéticas industriales se contratan a firmas extranjeras sin transferencia metodológica obligatoria. Los proyectos ERNC se instalan con ingeniería, software de control SCADA y mantenimiento especializado 100% importado. La cooperación técnica internacional (BID, BM, GIZ, KfW) genera informes que no sedimentan en capacidad institucional peruana. El conocimiento se va con el consultor.

⚠️ **La trampa sistémica (Arquetipo de Forrester: "Soluciones que Fallan")**
Cada proyecto exitoso con tecnología importada demuestra que funciona sin CTI local, lo que refuerza el modelo. El éxito del proyecto se convierte en argumento contra la inversión en capacidad nacional. La solución de corto plazo erosiona la capacidad de largo plazo.

Las licitaciones de proyectos energéticos no exigen porcentaje mínimo de contenido tecnológico nacional. Los términos de referencia de la cooperación técnica no requieren que el conocimiento se transfiera y quede instalado. Los convenios de inversión minero-energética no incluyen cláusulas de encadenamiento hacia I+D local.

Factor Porter afectado: Upgrading de factores. Porter es categórico: la ventaja competitiva sostenible requiere upgrading continuo de los factores. Un país que sistemáticamente importa el conocimiento que necesita nunca escala en el Diamante. Queda atrapado en la base de la cadena de valor, independientemente de cuántos GW instale o cuántas toneladas de cobre exporte.



La diferencia epistemológica con las otras cinco brechas: esta no se resuelve con presupuesto. Requiere cambiar las reglas del juego: los contratos, los términos de referencia, los incentivos universitarios, los modelos de cooperación técnica. Es una brecha de diseño institucional y de modelo mental. Y por eso es la más resistente al cambio.

4. MAPA DIAGNÓSTICO: LAS SEIS BRECHAS EN EL DIAMANTE DE PORTER

La tabla siguiente sintetiza las seis brechas, el factor del Diamante que afectan, la condición actual medible y el umbral mínimo requerido para iniciar el cierre:

Brecha	Factor Porter	Condición actual	Umbral crítico
I+D / Capital humano	Factores avanzados	<0.13% PBI en I+D	≥0.5% PBI en energía
Minerales críticos sin valor agregado	Industrias relacionadas	Exporta concentrado crudo	Cadena: cátodo → batería → motor
Fragmentación eficiencia-electrificación	Estrategia y rivalidad	Silos ministeriales	CONSECE integrador
Acceso amazónico sin modelo propio	Condiciones de demanda	Importación sin adaptación	Microrred estándar peruano
Ausencia arquitectura CTI-Energía	Rol del gobierno	CONCYTEC genérico	INICE con mandato sectorial
Modelo mental extractivista del conocimiento	*Upgrading* de factores	Conocimiento importado, no sedimenta	Transferencia tecnológica obligatoria

La **Brecha 6** es estructuralmente anterior a todas las demás: mientras el modelo mental extractivista del conocimiento permanezca intacto, las inversiones en las otras cinco brechas producen resultados que no se acumulan, no crean capacidad instalada y no generan ventaja competitiva sostenida. Es el eslabón de refuerzo que falta en el bucle.

5. POR QUÉ LA ALARMA CONVENCIONAL NO FUNCIONA

La fábula de la rana hervida no describe un fracaso de la voluntad. Describe un fracaso del **instrumento de medición**. El sistema nervioso de la rana está diseñado para detectar cambios de temperatura, no gradientes lentos. Análogamente, los instrumentos convencionales de diagnóstico del sistema energético peruano miden stocks — MW instalados, km de línea de transmisión, porcentaje de cobertura eléctrica —, pero no miden **flujos de conocimiento, acumulación de capacidad tecnológica, ni densidad de innovación sectorial**.

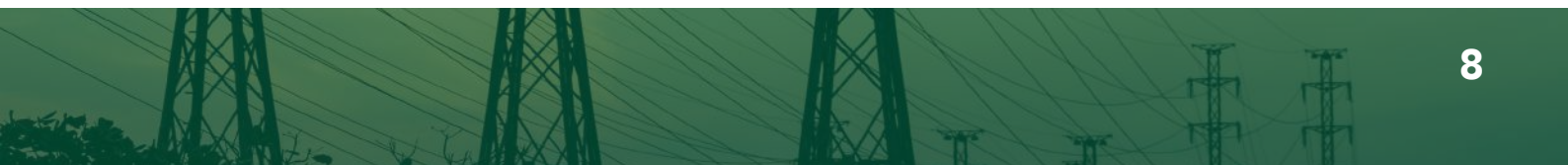
Las seis brechas descritas en este artículo son, en su mayoría, invisibles a los indicadores de gestión ministerial habituales. No aparecen en el Informe Anual del MINEM. No se reflejan en el presupuesto del CONCYTEC. No generan ningún indicador rojo en el tablero del MEF. Suben la temperatura silenciosamente.

Hay tres mecanismos específicos que bloquean la alarma:

- **El éxito puntual como coartada sistémica**: Cada proyecto energético exitoso — la central solar de Majes, la línea de transmisión amazónica, el parque eólico de Marcona — se registra como evidencia de que el sistema funciona. No se registra lo que el proyecto *no dejó*: conocimiento local acumulado, capacidad técnica transferida, cadena de valor activada.

- **La comparación con el pasado propio**: El Perú mide su progreso comparándose consigo mismo. La cobertura eléctrica mejoró del 87% al 95%. Pero comparada con Chile (99.8%), con Costa Rica (99.4%), o con cualquier país que haya invertido sistemáticamente en CTI energética, la brecha se revela. La referencia incorrecta genera confort falso.

- **El horizonte político de cuatro años vs. el horizonte de la ventaja competitiva**: Las brechas CTI se cierran en décadas. Los ciclos políticos peruanos duran cuatro años — y con frecuencia se interrumpen antes. Ningún incentivo político apunta al largo plazo. La urgencia electoral siempre desplaza la urgencia estructural.



El punto de quiebre epistemológico
La alarma no funciona porque mide temperatura, no gradiente. Mide lo que hay, no la velocidad a la que se está perdiendo la oportunidad. El Perú necesita un nuevo instrumento: uno que mida la **tasa de acumulación de capacidad CTI** en el sector energético, no solo los proyectos ejecutados.

6. EL LAZO EMOTIVO: LO QUE ESTÁ EN JUEGO PARA LAS PRÓXIMAS GENERACIONES

Los números tienen una frialdad que anestesia. Permítame salir brevemente de ellos.

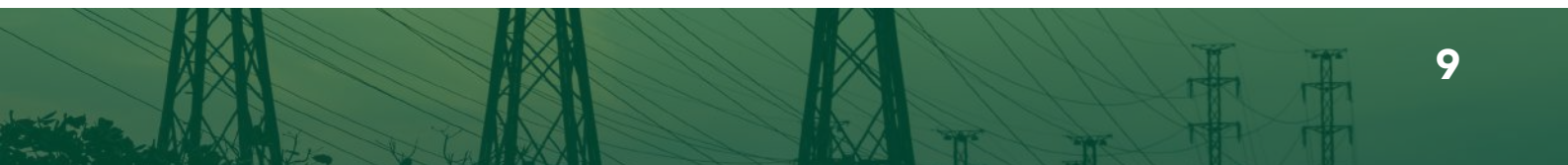
En el Valle Jequetepeque, en una plantación orgánica de banano que opera bajo el **Principio 0** — diseñada desde el origen para funcionar sin dependencia energética externa —, he visto lo que significa construir conocimiento desde el Gemba. Cada decisión de diseño es una hipótesis. Cada resultado es un dato. El conocimiento se acumula en la tierra, en los instrumentos, en las personas que trabajan el campo.

Ese modelo — pequeño, localizado, intensivo en conocimiento —, es exactamente lo que el sistema energético peruano necesita en escala nacional. No como romanticismo agrario, sino como evidencia de que **el conocimiento que se produce localmente, con recursos locales, para resolver problemas locales, es el único que no se va con el consultor**.

Las seis brechas de este artículo no son estadísticas abstractas. Son la diferencia entre un Perú que en 2050 sigue exportando cobre concentrado y comprando paneles solares chinos, y un Perú que en 2050 es proveedor de tecnología para la transición energética de América Latina — con ingenieros propios, con institutos propios, con cadenas de valor propias.

Un estudiante de doctorado en energética que hoy tiene 28 años tendrá 52 en 2050. Si el sistema no cambia, ese estudiante habrá pasado su vida académica en un ecosistema que no lo retiene, no lo conecta con la industria, no acumula su conocimiento. Y habrá formado a su vez una generación que repite el ciclo.

La rana no salta porque no percibe el gradiente. Pero nosotros sí podemos percibirlo. Esa es la diferencia entre un sistema nervioso biológico y una institucionalidad diseñada con intención. La pregunta es si tenemos la voluntad de diseñarla.



7. PROPUESTA: CINCO ACCIONES QUE CAMBIAN EL INSTRUMENTO, NO SOLO LA TEMPERATURA

No basta con describir el problema. La rana necesita que alguien cambie la olla, no que le explique la termodinámica. Las siguientes cinco acciones operan sobre el diseño institucional — el único nivel donde el cambio es sostenible:

- **Crear el INICE** (Instituto Nacional de Innovación y Competitividad Energética) con presupuesto propio, mandato sectorial vinculante y capacidad técnica especializada. No como nuevo elefante burocrático, sino como articulador que conecta universidades, empresas, operadores y MINEM en ciclos PDSA de innovación.

- **Incluir transferencia tecnológica obligatoria** en todos los contratos de proyectos energéticos mayores a USD 5 millones. No como declaración de intención, sino como cláusula ejecutable con métricas verificables: número de técnicos locales certificados, porcentaje de ingeniería nacional, documentación técnica transferida.

- **Establecer un Índice Nacional de Acumulación CTI-Energética** (INACTI-E) que mida trimestralmente la tasa de sedimentación de conocimiento en el sector: publicaciones con filiación peruana, patentes energéticas nacionales, porcentaje de proyectos con ingeniería local, número de doctores en energética activos en el sistema productivo.

- **Reformular los términos de referencia de la cooperación técnica internacional** para exigir que cada proyecto deje instalada capacidad institucional peruana — no solo un informe. El modelo: el consultor internacional trabaja con un equipo peruano titular, no en lugar de él.

- **Activar la demanda interna exigente** mediante requisitos de eficiencia energética vinculantes para la gran industria minero-energética, y estándares de desempeño para microrredes rurales que obliguen a la adaptación local. La demanda que exige calidad es la que crea proveedores de calidad.

8. CONCLUSION: SALTAR ANTES DE QUE EL AGUA HIERVA

La rana no es el Perú. La rana es cualquier sistema — cualquier país, cualquier institución, cualquier empresa — cuyo instrumento de medición no detecta el gradiente de temperatura que lo está cocinando.

El Perú tiene agua caliente en su olla energética. No porque le falten recursos — tiene sol, viento, agua, cobre, litio en cantidades que la mayoría de países envidiaría. Sino porque ha construido un sistema que **extrae sin acumular, instala sin transferir, crece sin aprender.**

Las seis brechas CTI descritas en este artículo no son fallas de ejecución. Son fallas de diseño. Y las fallas de diseño no se resuelven trabajando más duro dentro del mismo sistema — se resuelven rediseñando el sistema. Eso es lo que Porter llamaría *upgrading*: no hacer más de lo mismo, sino saltar a un nivel superior de la cadena de valor.

Eduardo Galeano concluyó su análisis del subdesarrollo latinoamericano señalando que el desafío no es crecer dentro del sistema existente, sino reemplazarlo. En el sistema energético peruano, el reemplazo requerido no es de la infraestructura física — es del **modelo mental** que trata el conocimiento como un insumo importable en lugar de como un activo estratégico que debe producirse, acumularse y reproducirse localmente.

La rana puede saltar. Pero necesita que alguien cambie el instrumento de medición. Y ese alguien somos los ingenieros, los académicos, los tomadores de decisiones y los ciudadanos que podemos percibir el gradiente cuando nos tomamos el trabajo de medirlo correctamente.

El agua todavía no ha hervido. Pero ya está muy caliente.

Lima, mayo de 2026

LISTA DE REFERENCIAS

Concytec / SINACTI (2025). *Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación al 2030 — DS 093-2025-PCM*. Lima: Diario Oficial El Peruano.

CEPAL (2024-2025). *Inversión extranjera directa en minerales críticos: oportunidades para América Latina*. Santiago de Chile.

Sociedad Nacional de Industrias / El Dorado Investments (2025). *Perú Sustainable Social Infrastructure & Clean Energy Summit 2025*. Lima, diciembre 2025.

ENGIE Energía Perú (2025). *Minería y Energía: desafíos y oportunidades para el crecimiento económico del Perú*. Lima.

Corresponsables (2025). *Eficiencia energética en el Perú: las brechas que frenan la competitividad y las claves para avanzar al 2026*. Lima, diciembre 2025.

Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York: Free Press.

Forrester, J. W. (1971). *World Dynamics*. Cambridge: MIT Press.

Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*. White River Junction: Chelsea Green Publishing.

Galeano, E. (1971). *Las venas abiertas de América Latina*. México: Siglo XXI Editores.

Wong Kcomt, J. B. (2026). *Diagnóstico Sistémico del Sistema Energético del Perú* (v30). Trujillo: WK Consultores [monografía en preparación].