

AUDITORÍA TÉCNICA DOCUMENTAL

Cueva de Las Niñas-Soria
Análisis crítico del estudio publicado por la
ULPGC

Validación de balances, metodología de modelización, seguridad de la operación y conclusiones de descarbonización

IDENTIFICACIÓN	DATOS DEL INFORME
Código	AT-GC-2026-01
Fecha de emisión	19 de octubre de 2026
Naturaleza	Revisión técnica documental externa no acreditada
Documento evaluado	Lozano Medina et al. (2026), Journal of Energy Storage, 173, artículo 123130
Ámbito	Sistema eléctrico aislado de Gran Canaria; bombeos Chira-Soria y Cueva de Las Niñas-Soria
Alcance	Análisis crítico de la documentación disponible; sin acceso al modelo computacional original
Estado	Versión 1.0 · apta para discusión técnica y solicitud de aclaraciones

DICTAMEN: el artículo aporta una hipótesis interesante, pero no acredita con suficiente trazabilidad la conclusión de cobertura eléctrica 100 % renovable mediante la alternativa de doble central.

La presente auditoría distingue los errores aritméticos y contradicciones documentales verificables de las insuficiencias de prueba. No atribuye intenciones a los autores ni sustituye una revisión del proyecto constructivo, sus expedientes o los estudios oficiales del operador del sistema.

Contenido

01. Ficha técnica y fuentes
02. Resumen ejecutivo y dictamen
03. Objeto, alcance y metodología
04. Matriz de hallazgos
05. Hallazgos detallados y requerimientos
06. Comprobaciones cuantitativas independientes
07. Criterios operativos y normativos
08. Plan de subsanación y pruebas de aceptación
09. Limitaciones, conclusiones y bibliografía
10. Anexo: lista de documentación requerida

Las referencias a páginas y tablas remiten a la paginación visible en el artículo original (15 páginas). Los cálculos señalados como «comprobación independiente» se derivan de cifras publicadas, no de la ejecución del modelo de los autores.

1. Ficha técnica y fuentes

Artículo revisado: J. C. Lozano Medina, F. León Zerpa, A. Ramos Martín y C. A. Mendieta Pino, «Modelling and operational analysis of reversible hydroelectric solutions in island electricity systems: The case of Gran Canaria», *Journal of Energy Storage*, vol. 173 (2026), 123130. DOI: 10.1016/j.est.2026.123130. [F1]

Fuentes primarias: PDF original suministrado, de 15 páginas, incluidos texto, figuras 1–7, tablas 1–13 y bibliografía. La investigación declara que los datos están disponibles previa solicitud (p. 14); dichos ficheros no acompañan al PDF examinado.

Fuentes de contraste: Anuario Energético de Canarias 2023, particularmente el gráfico 106 de máximos horarios; Reglamento (UE) 2017/1485 de operación del sistema; Reglamento (UE) 2017/2196 de emergencia y reposición; Reglamento (UE) 2016/631 y Orden TED/749/2020 de conexión; documentación IPCC/CMNUCC relativa a emisiones directas e indirectas. [F2–F7]

Advertencia de alcance: La normativa se utiliza como referencia de buenas prácticas y criterios operativos relevantes. Este informe no afirma, sin análisis jurídico específico, que cada disposición resulte directamente exigible al artículo académico ni que se haya producido infracción legal.

2. Resumen ejecutivo y dictamen

El trabajo compara (i) Chira–Soria, 200 MW de turbinación y 220 MW de bombeo; (ii) la conexión hidráulica de los embalses superiores de Chira y Cueva de Las Niñas sin duplicar maquinaria; y (iii) dos centrales independientes, Chira–Soria y Cueva de Las Niñas–Soria, con 400 MW de turbinación y 440 MW de bombeo en conjunto. La tercera opción se acompaña de mayor generación renovable y un respaldo mediante hidrógeno.

La auditoría verifica contradicciones materiales entre magnitudes del propio artículo (demanda máxima diaria, potencia térmica media, rendimiento global, emisiones de base, escenarios renovables y autonomía). También identifica resultados cuya verificación independiente no es posible sin los datos horarios, parámetros hidráulicos, archivos de simulación y diseño del subsistema de hidrógeno.

La proposición «la doble central permite un sistema 100 % renovable» debe tratarse, en el estado documental examinado, como una conclusión de simulación no suficientemente demostrada ni reproducible; no como un hecho operativo acreditado.

DICTAMEN POR ASPECTO	VALORACIÓN	FUNDAMENTO
Interés técnico de las alternativas	Pertinente	La ampliación hidráulica y la coordinación de almacenamientos merecen estudio.
Consistencia interna de datos y balances	No conforme para validación	Inconsistencias aritméticas y cambios de bases no reconciliados.
Demostración de garantía y estabilidad	Evidencia insuficiente	No se publican resultados dinámicos/contingencias y cobertura cronológica verificable.
Demostración de descarbonización total	No acreditada	Comparación desigual de escenarios, H ₂ sin dimensionamiento completo y balances no reproducibles.
Evaluación económica y ambiental	Preliminar	LCOES, inversión e impactos sin trazabilidad suficiente para selección de inversión.

3. Objeto, alcance y metodología

La revisión se centra en cinco preguntas: (1) ¿coinciden las tablas, figuras y afirmaciones?; (2) ¿cierran las ecuaciones y los balances dimensionantes?; (3) ¿se comparan alternativas homogéneas?; (4) ¿hay evidencia suficiente de funcionamiento seguro de un sistema aislado?; y (5) ¿son reproducibles las conclusiones de emisiones y costes?

Procedimiento: lectura íntegra del artículo; identificación de entradas, hipótesis y salidas; contrastes aritméticos dimensionales y energéticos; comparación interna de tablas/figuras; verificación externa focalizada del dato horario de 2023; revisión de suficiencia metodológica de los análisis eléctrico, hidráulico, ambiental y económico.

Clasificación de evidencias: [V] contradicción o cálculo verificable; [D] carencia documental que impide validar una afirmación; [I] inferencia técnica condicionada, expresamente señalada. La gravedad se refiere a la capacidad de fundamentar conclusiones, no a un riesgo de explotación materializado.

Severidad: Crítica: afecta directamente a una conclusión central o a un dato básico de validación. Mayor: requiere revisión técnica sustantiva o información esencial. Menor: discrepancia localizada sin incidencia demostrada sobre la conclusión principal.

4. Matriz de hallazgos

CÓD.	NIVEL	DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN
H-01	Crítica	[V] Demanda máxima diaria incorrecta y ámbito confundido	p. 3; [F2]
H-02	Mayor	[V] Potencia térmica media anual incompatible	p. 3, tabla 1
H-03	Mayor	[V] Rendimiento de ida y vuelta 70,97 %, no 75 %	pp. 5 y 10, tablas 3 y 6
H-04	Crítica	[V] Línea de base de emisiones no reconciliada	pp. 4 y 10, tablas 2 y 10
H-05	Mayor	[D/V] Clasificación NO _x y N ₂ O en CO ₂ equivalente	p. 4, tabla 2
H-06	Mayor	[V] Cobertura renovable versus reducción térmica	pp. 10 y 13, tablas 10 y 12

CÓD.	NIVEL	DESCRIPCIÓN	LOCALIZACIÓN
H-07	Crítica	[D] Escenarios con distinta potencia renovable	pp. 10–13, tablas 11 y 12
H-08	Crítica	[D] Falta acreditación cronológica del 100 % renovable	pp. 8–13
H-09	Crítica	[D] Estabilidad de red y contingencias sin resultados	pp. 7–9
H-10	Mayor	[V] Autonomía agregada interpretada como continua	pp. 9–12, tablas 5 y 11
H-11	Mayor	[D] Hidrógeno no dimensionado para respaldo	pp. 9–11, tabla 9
H-12	Mayor	[V] Divergencias de volúmenes entre tablas	pp. 9 y 12, tablas 7 y 11
H-13	Mayor	[V] Figura de emisiones distinta de tablas	pp. 10–11, figura 6
H-14	Mayor	[D] LCOES sin datos suficientes para reproducción	p. 13, tabla 13
H-15	Mayor	[D] Evaluación AHP no auditada en detalle	pp. 7–13, figura 7
H-16	Mayor	[D] Evaluación ambiental e hidráulica preliminar	pp. 7–14
H-17	Mayor	[D] Sensibilidades anunciadas sin serie de resultados	pp. 8 y 13
H-18	Menor	[V] Discrepancia puntual en punta de demanda	p. 3

5. Hallazgos detallados y requerimientos

H-01 Confusión de demanda diaria, horario y ámbito

SEVERIDAD **CRÍTICA** | NATURALEZA [V] Error factual contrastado

Localización: p. 3, apartado 2.1, párrafo relativo al 9/10/2023; Anuario 2023, gráfico 106 [F2].

Evidencia documental: El artículo atribuye a Gran Canaria una «máxima demanda diaria» de 1.455,30 MWh el 9 de octubre de 2023.

Contraste o prueba: Con 3.327.872,76 MWh/año de consumo declarado, la media diaria es 9.117,46 MWh. Una máxima anual de 1.455,30 MWh/día es matemáticamente imposible. El gráfico 106 oficial identifica unos 1.455 MWh como máximo HORARIO del conjunto de Canarias (20–21 h), mientras Gran Canaria registra 558,2 MWh esa hora. La suma de los 24 registros oficiales de Gran Canaria del día es $\approx 11.194,9$ MWh.

Consecuencia: Compromete la confianza en la selección y normalización de los registros de demanda; no prueba, por sí sola, que los modelos hayan utilizado el dato equivocado.

Subsanación requerida: Rectificar la frase y aportar tabla con serie horaria, fuente, fecha, huso horario y procedimiento de agregación empleado en la simulación.

H-02 Potencia térmica anual media incompatible con producción

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [V] Error aritmético

Localización: p. 3, párrafo previo a tabla 1 y tabla 1.

Evidencia documental: El texto declara una potencia térmica media de 386,74 MW para 2023; la tabla 1 presenta $1.799,26 + 602,76 + 111,40 + 39,88 = 2.553,30$ GWh térmicos.

Contraste o prueba: $2.553.300 \text{ MWh} / 8.760 \text{ h} = 291,47 \text{ MW}$; el promedio de TODA la generación del año es $3.327.820/8.760 \approx 379,89 \text{ MW}$. El valor publicado para térmica rebasa incluso la potencia media total.

Consecuencia: Error en un indicador de contexto utilizado para describir la explotación inicial del sistema.

Subsanación requerida: Publicar dato corregido y verificar el origen de 386,74 MW y su posible utilización en la modelización.

H-03 Rendimiento energético del ciclo no coherente

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [V] Inconsistencia cuantitativa

Localización: p. 5, tabla 3 y comentario; pp. 9–10, tablas 5–6 y apartado 3.3.

Evidencia documental: Se publican 2.104,43 MWh/día de turbinación y 2.965,12 MWh/día de bombeo; posteriormente se utiliza un rendimiento global del 75 %.

Contraste o prueba: El cociente de energías de la tabla 3 es $2.104,43 / 2.965,12 = 0,70973 \rightarrow 70,97 \%$. Los porcentajes 43,84 %/56,16 % de la tabla 3 se refieren a HORAS del día, y no miden el rendimiento energético del ciclo.

Consecuencia: El rendimiento influye directamente en los requerimientos renovables, el vertido, las pérdidas y la economía de almacenamiento.

Subsanación requerida: Documentar rendimientos por equipo y por salto, pérdidas de carga y rendimiento de ciclo aplicados efectivamente; reconciliar todas las tablas y recalcular escenarios.

H-04 Cambio material de la línea de base de emisiones

SEVERIDAD **CRÍTICA** | NATURALEZA [V] Contradicción de inventarios

Localización: p. 4, tabla 2; p. 10, tabla 10; p. 12, tabla 11.

Evidencia documental: La tabla 2 cifra las emisiones de 2023 en 1.782.561 tCO₂eq; la tabla 10 adopta «emisiones actuales» de 2.243.202,21 tCO₂eq para calcular la reducción de 23,32 %.

Contraste o prueba: La diferencia es 460.641,21 tCO₂eq (+25,84 % respecto a la tabla 2). Con el mismo valor final de 1.720.164,09 tCO₂eq, la reducción calculada sobre la primera base sería 3,50 %, no 23,32 %. Ambas reducciones no pueden presentarse como equivalentes sin justificar cambios de alcance, año o metodología.

Consecuencia: Impide validar la cuantificación principal de emisiones y la comparación ambiental entre alternativas.

Subsanación requerida: Entregar inventario de emisiones desglosado por tecnología, combustible, especie, factores de emisión y año; reconciliar todas las líneas de base y mostrar fórmula de cada porcentaje.

H-05 Mezcla insuficientemente justificada de gases y equivalencias

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [D/V] Problema metodológico de inventario

Localización: p. 4, tabla 2, columnas CO₂, CH₄, NO_x y total. [F7]

Evidencia documental: La tabla presenta valores de NO_x con unidad tCO₂eq y obtiene el total mediante suma aparente de CO₂, CH₄ y NO_x. No identifica N₂O ni factores de potencial de calentamiento global utilizados.

Contraste o prueba: Los NO_x se consideran precursores/efectos climáticos indirectos, distintos del N₂O, que sí es gas de efecto invernadero directo. No es justificable equiparar sin explicación una masa de NO_x a tCO₂eq directas; existe la posibilidad de error de rotulación que no se puede resolver con el PDF.

Consecuencia: Incertidumbre sobre el inventario y su reproducibilidad; no cabe asignar sin más un error cuantitativo sin el cálculo de gases de origen.

Subsanación requerida: Aclarar si la columna corresponde a NO_x o N₂O; aportar factores GWP y método de conversión, diferenciando gases directos e indirectos.

H-06 Penetración renovable y reducción térmica no conciliadas

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [V/I] Inconsistencia bajo demanda fija

Localización: p. 10, tabla 10; p. 13, tabla 12; p. 2–3, participación térmica inicial.

Evidencia documental: La tabla 12 señala 46–50 % de penetración renovable con Chira–Soria y 23,32 % de reducción de generación térmica; la base del artículo es 23,27 % renovable y 76,73 % térmica.

Contraste o prueba: Manteniendo la misma demanda anual y sin exportaciones, una reducción de energía térmica del 23,32 % desde 76,73 % implica fracción térmica residual $76,73 \% \times 0,7668 = 58,84 \%$, es decir 41,16 % de cobertura no térmica. El 46–50 % requiere diferentes condiciones, pérdidas o denominadores que no se explicitan.

Consecuencia: Impide interpretar conjuntamente indicadores de la misma configuración bajo una contabilidad homogénea. La conclusión numérica está condicionada a las definiciones exactas de «penetración» y «reducción».

Subsanación requerida: Aportar balances energéticos completos, denominador y definición de cada indicador, con pérdidas de bombeo y vertidos explícitos.

H-07 Comparación de configuraciones no aislada del tamaño renovable

SEVERIDAD **CRÍTICA** | NATURALEZA [D] Sesgo estructural de comparación

Localización: pp. 10–12, apartados 3.3–3.6 y tabla 11.

Evidencia documental: El estudio asocia 725 MW renovables a las primeras dos configuraciones y 1.292,17 MW a la tercera; simultáneamente atribuye a la tercera la única cobertura renovable del 100 %.

Contraste o prueba: La tercera cuenta con 567,17 MW más (+78,23 % respecto a 725 MW). No se presenta una batería de escenarios con la MISMA generación renovable, el mismo hidrógeno y la misma demanda para todas las alternativas, ni una optimización conjunta que aísle el efecto de añadir la segunda central.

Consecuencia: No puede atribuirse causalmente a la segunda central la totalidad de la mejora de penetración; tampoco se demuestra exclusividad ni mínimo coste.

Subsanación requerida: Comparar las tres arquitecturas bajo escenarios renovables idénticos y, después, calcular la frontera óptima coste–seguridad para distintas carteras (bombeo, BESS, demanda flexible e H₂).

H-08 Descarbonización completa sin demostración cronológica verificable

SEVERIDAD **CRÍTICA** | NATURALEZA [D] Conclusión principal no reproducible

Localización: pp. 8–13, apartado 2.3.4, 3.4, 3.5 y tabla 12.

Evidencia documental: La opción dual se declara «100 % renewable system» y emisiones cero, pero el PDF no publica secuencias anuales de estado de carga de embalses, vertidos, déficit de demanda, activación del H₂ ni indicadores de energía no suministrada.

Contraste o prueba: El texto afirma usar datos horarios de 2023, pero aporta principalmente perfiles agregados, esquemas y resultados anuales. Sin despacho horario completo y restricciones de potencia/energía, no es posible comprobar periodos consecutivos de baja renovable, mantenimiento, indisponibilidad o niveles inicial/final de reserva.

Consecuencia: La garantía de cobertura sin combustibles fósiles permanece como salida del modelo no auditada, no como demostración independiente de seguridad de suministro.

Subsanación requerida: Aportar resultados cronológicos 8.760 h para cada configuración y, preferiblemente, una muestra plurianual, con demanda no atendida, vertidos, estados de carga, disponibilidad y balance de cierre.

H-09 Atributos de estabilidad sin pruebas dinámicas publicadas

SEVERIDAD **CRÍTICA** | NATURALEZA [D] Insuficiencia de validación electrotécnica

Localización: p. 7, herramientas; p. 9, texto reconoce que no se calculan explícitamente RoCoF ni nadir.

Evidencia documental: Se afirma que PSS/E se utilizó para estudiar estabilidad y se atribuyen a las instalaciones regulación de frecuencia, soporte de inercia, reservas y resiliencia; el propio artículo reconoce que los indicadores dinámicos RoCoF y nadir no se calculan explícitamente.

Contraste o prueba: No se presentan topología, hipótesis de inercia, modelos de regulación, cortocircuito, compensación reactiva, respuestas ante falta/pérdida de generación, márgenes N-1 ni ajustes de protección. El balance horario no sustituye a análisis electrodinámicos. Como referencias de disciplina operativa se consideran [F3-F6].

Consecuencia: No queda acreditada la operación de la red insular sin generación síncrona térmica bajo contingencias relevantes.

Subsanación requerida: Publicar estudios de flujo de cargas, cortocircuito, estabilidad transitoria y de frecuencia, reserva operacional, N-1 y reposición, junto con casos y configuraciones del simulador.

H-10 Autonomía de 32,64 horas no equivale a 400 MW continuos

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [V] Interpretación física de capacidad

Localización: pp. 9-10, tabla 5 y apartado 3.2; p. 12, tabla 11.

Evidencia documental: Para la alternativa dual se presenta 6.528,37 MWh de energía máxima y 32,64 h de autonomía continua; se suman las autonomías de dos grupos de 200 MW.

Contraste o prueba: A 400 MW nominales, la energía total solo equivale a $6.528,37 / 400 = 16,32$ horas equivalentes. Si ambos saltos turbinan simultáneamente a plena potencia y de forma independiente, la unidad de menor reserva figura con 16,07 horas. Las 32,64 h tienen sentido como suma de horas-planta a 200 MW, no como duración de toda la potencia agregada.

Consecuencia: La lectura no matizada sobreestima la disponibilidad temporal de la potencia total ante una contingencia con renovables escasas.

Subsanación requerida: Presentar autonomía según potencia solicitada, despacho simultáneo/secuencial, caudales y limitaciones de cada embalse; evitar sumar «horas al día» de distintas unidades sin calificarlo como horas-unidad.

H-11 Respaldo mediante hidrógeno no completamente dimensionado

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [D] Carencia en tecnología determinante

Localización: pp. 9–11, apartados 2.3.6 y 3.4, tabla 9.

Evidencia documental: Se indica un electrolizador de 150–250 MW y reserva «de larga duración», pero la capacidad de almacenamiento no está cuantificada y tampoco la potencia del sistema de reconversión eléctrica. Se le atribuye además una aportación del 2,04 % de la demanda anual.

Contraste o prueba: La potencia del electrolizador es potencia consumidora, no potencia de generación de respaldo. Falta la eficiencia de ciclo, energía útil del stock, curvas de conversión, autonomía de baja renovable y reserva mínima necesaria.

Consecuencia: El componente utilizado para justificar cobertura total en situaciones extremas no queda caracterizado en potencia ni energía.

Subsanación requerida: Aportar diseño de electrólisis, almacenamiento y reconversión (MW/MWh/H₂), energías anuales, rendimientos y escenarios de déficit renovable pluridiano.

H-12 Parámetros de volúmenes hidráulicos contradictorios

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [V] Inconsistencia tabular

Localización: p. 9, tabla 7; p. 12, tabla 11.

Evidencia documental: La tabla 7 asigna a (Ch+CN)–S un «racking volume» de 4.210.000 m³ y volumen de equilibrio de 2.756.029 m³, mientras la tabla 11 asigna a esa misma alternativa 8.290.000 m³ de volumen y 2.590.978,52 m³ de equilibrio.

Contraste o prueba: Las magnitudes no concuerdan. Una hipótesis posible es que se hayan mezclado los volúmenes individuales y agregados, pero el PDF no aporta la clave para recomponer el modelo hidráulico.

Consecuencia: No se puede verificar capacidad útil, energía máxima y comparabilidad de los esquemas a partir de sus tablas principales.

Subsanación requerida: Emitir plano y cuadro maestro con volúmenes físicos y utilizables por embalse, cotas, condiciones de explotación, intercambios, pérdidas y conversión a MWh.

H-13 Discrepancia en la representación gráfica de emisiones

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [V] Desacuerdo entre resultados publicados

Localización: p. 11, figura 6 frente a pp. 9–10, tablas 8 y 10.

Evidencia documental: La figura 6 grafica emisiones de unas 1,68 Mt/año para las primeras alternativas y unas 50.000 t/año para la dual; las tablas 8 y 10 ofrecen 1.720.164 t/año y 0 t/año.

Contraste o prueba: No se informa de un cambio de escenario, incertidumbre o criterio que justifique la diferencia entre figura y tabla. La diferencia de «cero» a «50.000» es particularmente significativa en una conclusión de neutralidad total.

Consecuencia: La comunicación gráfica es internamente incompatible con la cuantificación definitiva de emisiones.

Subsanación requerida: Identificar variables, escenario, valores exactos y archivos de origen de todas las figuras; actualizar el documento para que tablas y gráficos sean trazables.

H-14 Coste nivelado de almacenamiento no reproducible

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [D] Insuficiencia económica

Localización: p. 13, apartado 3.8 y tabla 13.

Evidencia documental: Se publica LCOES de 145 €/MWh para la doble central y 167 €/MWh si el CAPEX aumenta un 15 %.

Contraste o prueba: No figuran desgloses verificables de CAPEX, OPEX, vida útil, tasa de descuento, reposiciones, energía anual realmente descargada, coste de alimentación eléctrica y límites del perímetro económico. No se ofrece comparación equivalente y cuantitativa de alternativas.

Consecuencia: La conveniencia económico-financiera y su robustez no quedan acreditadas con la información publicada.

Subsanación requerida: Entregar modelo económico abierto, definición de LCOES, escenarios de costes financieros y de operación, y coste integral del sistema con generación renovable y respaldo.

H-15 Análisis multicriterio AHP no reproducible

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [D] Opacidad del método de decisión

Localización: pp. 7-8, apartado 2.2.4; pp. 12-13, figura 7.

Evidencia documental: Los autores describen ponderación mediante AHP y comparación por expertos; presentan un radar de seis criterios normalizados.

Contraste o prueba: No se publican matrices de pares, pesos, niveles de concordancia/consistencia, identidad metodológica de la muestra experta ni reglas de transformación de magnitudes en puntuaciones. El criterio «potencia renovable requerida» es reinterpretado como cobertura obtenida, alterando la orientación de preferencia.

Consecuencia: La jerarquización final no puede auditarse ni verificarse frente a cambios en los pesos y en los indicadores originales.

Subsanación requerida: Anexar matrices AHP, pesos, ratios de consistencia, normalizaciones, resultados de sensibilidad y reglas explícitas de dominancia y compensación.

H-16 Condicionantes hidráulicos y ambientales tratados en fase preliminar

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [D] Alcance ambiental no suficiente

Localización: pp. 7-9, 13-14, metodología, conclusiones y líneas futuras.

Evidencia documental: Se mencionan ocupación, biodiversidad, evaporación, accesos y viabilidad constructiva; los autores reconocen la necesidad de profundizar los estudios socioambientales.

Contraste o prueba: El PDF no incorpora inventario ambiental de detalle, compatibilidad con usos del agua, balance de pérdidas hidráulicas sobre todos los embalses, proyectos de obras, geotecnia, afecciones territoriales ni permisos. No debe confundirse la evaluación de artículo científico con una evaluación ambiental de proyecto.

Consecuencia: No es posible declarar factibilidad ambiental ni autorización de una alternativa en virtud del artículo.

Subsanación requerida: Preparar estudios hidráulicos, territoriales, constructivos y ambientales específicos; delimitar los expedientes competenciales que serían necesarios en una eventual fase de proyecto.

H-17 Robustez de sensibilidad afirmada sin resultados suficientes

SEVERIDAD **MAYOR** | NATURALEZA [D] Falta de resultados publicados

Localización: p. 8, apartado 2.2.5; p. 13, apartado 3.8.

Evidencia documental: Se anuncian variaciones ± 20 % de producción renovable, $+15$ %/ -10 % CAPEX, crecimiento de demanda y cambios en el coste de CO₂.

Contraste o prueba: La publicación solo cuantifica de manera específica el escenario de LCOES con $+15$ % CAPEX. No aparece una matriz de todas las pruebas con valores de penetración, vertidos, déficit, consumo térmico o seguridad operativa.

Consecuencia: No es verificable la robustez global declarada de las configuraciones bajo condiciones adversas.

Subsanación requerida: Publicar tabla cruzada de hipótesis/resultados para todas las sensibilidades y definir criterios explícitos de aceptación.

H-18 Dos valores distintos de punta instantánea

SEVERIDAD **MEJOR** | NATURALEZA [V] Discrepancia editorial

Localización: p. 3, apartado 2.1.

Evidencia documental: Para el 9/10/2023 aparecen una punta de 563,40 MW y otra de 563,70 MW, ambas a las 20:28 h.

Contraste o prueba: Diferencia de 0,30 MW (0,053 % de la punta). El Anuario identifica 563,4 MW. [F2]

Consecuencia: No es determinante por sí sola, pero refuerza la necesidad de revisión y control de versiones de las series publicadas.

Subsanación requerida: Unificar con la fuente oficial y fijar número de decimales / criterio de redondeo.

6. Comprobaciones cuantitativas independientes

Las siguientes operaciones son replicables con una calculadora. Constituyen pruebas de coherencia interna y no suponen haber reproducido HOMER Grid, MATLAB/Simulink, PSS/E o EPANET.

PRUEBA	OPERACIÓN	RESULTADO	FUENTE
P-01 Consumo medio diario	3.327.872,76 MWh / 365 d	9.117,46 MWh/día	p. 3, tabla 1
P-02 Consumo GC 9/10/2023	Suma de 24 horas del Anuario	11.194,9 MWh/día	[F2], gráfico 106
P-03 Térmica media	2.553.300 MWh / 8.760 h	291,47 MW	p. 3, tabla 1
P-04 Rendimiento global	2.104,43 / 2.965,12	70,97 %	p. 5, tabla 3
P-05 Diferencia inventarios	2.243.202,21 – 1.782.561	460.641,21 tCO ₂ eq	tablas 2 y 10
P-06 Reducción con 1ª base	1 – (1.720.164,09/1.782.561)	3,50 %	tablas 2 y 10
P-07 Cobertura residual*	1 – 0,7673 × (1 – 0,2332)	41,16 %	pp. 2 y 13
P-08 Duración a 400 MW	6.528,37 MWh / 400 MW	16,32 h equivalentes	p. 9, tabla 5
P-09 Potencia extra renovable	1.292,17 MW – 725 MW	567,17 MW (+78,23 %)	p. 12, tabla 11

PRUEBA	OPERACIÓN	RESULTADO	FUENTE
P-10 Generación renovable**	$1.292,17 \times 0,3676 \times 8.760$	4.161,01 GWh/año	p. 11, apartado 3.5
P-11 Neto pérdidas bombeo***	$(5.930,33 - 4.208,79) \times 365$	628,36 GWh/año	p. 10, tablas 5-6
P-12 Energía total mínima****	$3.327,87 + 628,36$	3.956,23 GWh/año	P-01 y P-11

* Condicionado a misma demanda, sin exportaciones y definiciones homogéneas de cobertura. ** Escenario ilustrativo, solo si los 1.292,17 MW son potencia renovable total y el 36,76 % se aplica a toda ella. *** Suponiendo 365 ciclos diarios equivalentes, hipótesis no demostrada como operación anual real. **** Antes de otras pérdidas, vertidos y balance neto de almacenamiento de H₂. Estas cuatro salvedades impiden elevar el cálculo simplificado a prueba de viabilidad o inviabilidad.

6.1. Prueba de plausibilidad del balance renovable del escenario dual

Bajo las hipótesis condicionales anteriores, la producción renovable anual teórica sería $\approx 4.161,01$ GWh y las necesidades directas más pérdidas netas del bombeo alcanzarían $\approx 3.956,23$ GWh. El margen remanente es $\approx 204,78$ GWh. No puede interpretarse como excedente disponible garantizado: habría que restarle vertidos, otras pérdidas y la energía neta consumida al producir y reconvertir H₂. La variabilidad horaria determina si esa energía está disponible en las horas en que se necesita.

Si la aportación eléctrica del hidrógeno fuera el 2,04 % de la demanda ($\approx 67,89$ GWh/año) y, a modo EXCLUSIVAMENTE ilustrativo, su rendimiento eléctrico de ida y vuelta fuera del 35 %, la energía de entrada necesaria sería $\approx 193,97$ GWh/año y la pérdida neta $\approx 126,08$ GWh/año. No se atribuye ese 35 % a los autores: el artículo no proporciona un valor numérico para cerrar esta comprobación.

6.2. Comprobación del salto y caudales nominales

Con las magnitudes publicadas para Chira-Soria (salto de 343 m, caudal de turbinación 68,40 m³/s, potencia eléctrica 200 MW; bombeo 53,40 m³/s y 220 MW), la potencia hidráulica ideal $P = \rho g Q H$ permite estimar un rendimiento instantáneo de turbinación $\approx 86,9$ % y de bombeo $\approx 81,7$ %, tomando $\rho = 1.000$ kg/m³ y $g = 9,81$ m/s². Su producto $\approx 71,0$ % resulta compatible con el cociente diario calculado y diferente del 75 % global indicado en el texto. Esta verificación simplificada no sustituye las curvas de rendimiento ni la variación de salto.

7. Criterios operativos y referencias normativas

Para sistemas eléctricos aislados, una demostración de suficiencia energética no equivale a una demostración de funcionamiento seguro. Los siguientes instrumentos se citan como referencias técnicas para definir las comprobaciones adecuadas, sin prejuzgar el régimen concreto de cada instalación.

REFERENCIA	RELEVANCIA PARA LA REVISIÓN
[F3] Reglamento (UE) 2017/1485	Seguridad operativa; reservas, frecuencia, estados del sistema y análisis de contingencias (entre otros, arts. 18, 33-35).
[F4] Reglamento (UE) 2017/2196	Necesidad de estudiar defensa, apagón y reposición del suministro.
[F5] Reglamento (UE) 2016/631	Comportamiento y exigencias de conexión de módulos de generación, sujetos a clasificación/aplicabilidad.
[F6] Orden TED/749/2020, texto vigente 2026	Desarrollo nacional de requisitos técnicos de conexión; su aplicabilidad debe revisarse por instalación.
[F7] IPCC y CMNUCC	Buenas prácticas de inventario; distinción entre gases directos y precursores, transparencia del cálculo.

El artículo reconoce expresamente que no se calculan RoCoF ni nadir. Para validar el 100 % renovable deben conocerse, como mínimo, una cartera de contingencias, la respuesta de cada máquina y convertidor, el control tensión/reactiva, los mínimos de inercia o soporte equivalente, el deslastre y las secuencias de reposición. Los resultados deben cruzarse con disponibilidades reales, programación de reservas y restricciones hidráulicas.

8. Plan de subsanación y pruebas de aceptación

PRIORIDAD	ENTREGABLE REQUERIDO	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
P0 · Inmediata	Fe de erratas con líneas de base, serie de demanda, rendimiento y cifras de figuras/tablas.	Una tabla maestra sin contradicciones; operaciones aritméticas trazables a fuentes.
P0 · Inmediata	Datos 2023 originales, scripts y resultados 8.760 h; definición y alcance de cada indicador.	Reproducción de balances de energía y emisiones, con desviación explicada.
P1 · Validación	Tres escenarios con igual parque renovable y alternativas adicionales de almacenamiento.	Atribución separada del efecto de potencia renovable y capacidad hidráulica.
P1 · Validación	Modelo hidráulico y estados horarios de embalses, pérdidas, limitaciones y usos del agua.	Cierre de balances de masa y energía; viabilidad de funcionamiento conjunto.
P1 · Validación	Modelos eléctricos dinámicos y casos de estudio N-1/perturbaciones.	Márgenes de frecuencia, tensión, reservas y seguridad documentados.
P1 · Validación	Dimensionamiento completo de H ₂ (MW/MWh/almacenamiento y rendimientos).	Sin déficit eléctrico en los escenarios evaluados o déficit declarado y cuantificado.
P2 · Decisión	Modelo económico completo y evaluación ambiental territorial.	Comparativa coste-beneficio y condicionantes de implantación verificables.

9. Limitaciones y conclusiones

Esta revisión se basa en el documento público de 15 páginas y en las referencias externas identificadas. No dispone de series originales descargables, archivos de simulación, planos detallados, presupuestos de proyecto ni posibles respuestas de los autores. Por ello, las observaciones documentales no deben convertirse indebidamente en una afirmación de que la infraestructura proyectada es imposible o innecesaria.

Los hallazgos H-01, H-02, H-03, H-04, H-10, H-12, H-13 y H-18 pueden verificarse directamente mediante datos, tablas y operaciones sencillas; H-05 y H-06 presentan además cuestiones de definición que requieren aclaración. H-07 a H-09, H-11 y H-14 a H-17 identifican principalmente falta de evidencia publicada o de trazabilidad suficiente para validar las afirmaciones.

Conclusión profesional: el artículo es útil como propuesta de investigación y comparación preliminar, pero no alcanza, con la evidencia publicada, el estándar de demostración técnica necesario para justificar por sí solo una segunda central de bombeo como solución suficiente, exclusiva o económicamente preferible para la descarbonización completa de Gran Canaria.

Se recomienda remitir a los autores una solicitud documentada de aclaraciones y acceso a datos/modelos, dando oportunidad de respuesta técnica antes de formular conclusiones definitivas sobre la validez completa de la simulación. Un eventual proceso de decisión pública debe incorporar una evaluación técnico-económica, eléctrica, ambiental y territorial independiente del artículo.

10. Fuentes y bibliografía verificable

- [F1] Lozano Medina, J. C.; León Zepa, F.; Ramos Martín, A.; Mendieta Pino, C. A. (2026). «Modelling and operational analysis of reversible hydroelectric solutions in island electricity systems: The case of Gran Canaria». *Journal of Energy Storage*, 173, 123130. <https://doi.org/10.1016/j.est.2026.123130> · PDF entregado por la parte solicitante.
- [F2] Gobierno de Canarias. Anuario Energético de Canarias 2023, apartado 3.5.2, gráfico 106 «Curva de demanda horaria. Máximo anual. Año 2023». <https://www.gobiernodecanarias.org/energia/descargas/SDE/Portal/Publicaciones/AnuarioEnergeticodeCanarias-2023.pdf>
- [F3] Reglamento (UE) 2017/1485 de la Comisión, de 2 de agosto de 2017, directriz sobre gestión de la red de transporte de electricidad. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2017-81692>
- [F4] Reglamento (UE) 2017/2196 de la Comisión, de 24 de noviembre de 2017, código relativo a emergencia y reposición del servicio. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2017-82325>
- [F5] Reglamento (UE) 2016/631 de la Comisión, de 14 de abril de 2016, código de conexión de generadores. <https://www.boe.es/doue/2016/112/L00001-00068.pdf>
- [F6] Orden TED/749/2020, de 16 de julio, sobre requisitos técnicos de conexión; texto consolidado actualizado el 12/02/2026. <https://www.boe.es/eli/es/o/2020/07/16/ted749/con/20260212>
- [F7] IPCC Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, preguntas frecuentes sobre precursores NOx y emisiones indirectas. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html> ; Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), inventarios y diferencias entre gases directos e indirectos: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review/transparency-data-and-tools/greenhouse-gas-data/data-interface-help>

Anexo A. Solicitud mínima de documentación técnica

Fuente y descarga de la demanda 2023: valores horarios de Gran Canaria y del archipiélago, fechas y husos, ajustes y agregación.

Modelos, parámetros y scripts de HOMER Grid, MATLAB/Simulink, PSS/E, EPANET y GIS; versiones de software y semillas/solver si procede.

Definición horaria de potencia eólica/fotovoltaica instalada, generación disponible, vertidos, mantenimiento e indisponibilidades.

Trazas 8.760 h de generación, demanda, bombeo, turbinación, vertidos, demanda no servida y estados de carga de los tres embalses.

Modelo hidráulico con batimetrías, cotas, volúmenes mínimo/máximo, saltos netos, pérdidas, curvas de rendimiento y restricciones de operación.

Archivo maestro de inventario de CO₂/CH₄/N₂O/NO_x, factores de emisión, equivalencias, combustibles y conciliación de 1,782 y 2,243 MtCO₂eq.

Esquema completo del sistema de H₂ (electrolizador, almacenamiento, reconversor, consumo auxiliar y balances energéticos).

Casos de red: flujos, cortocircuito, dinámica de frecuencia/tensión, contingencias, reguladores, protecciones y reposición.

Presupuesto detallado CAPEX/OPEX y hoja de cálculo del LCOES, supuestos financieros y escenarios de sensibilidad.

Matrices de decisión AHP, pesos, puntuaciones originales, consistencia y evaluación de sensibilidad.

Informes de compatibilidad hidráulica, ambiental y territorial; identificación de condicionantes y autorizaciones necesarias.

Fin del documento · AT-GC-2026-01 · El informe puede utilizarse para discusión técnica y solicitud formal de aclaraciones siempre que se conserve íntegro, con sus salvedades de alcance y verificación.