MedETechni
Journal of Translational Research

OPEN ACCESS
CC BY 4.0

MedETechNi

CIENCIA PARA UN CUIDADO MÁS SEGURO, INTELIGENTE Y HUMANO

EDICIÓN INAUGURAL

Volumen 1 · 2026 · e0004

Cambios en el ATP superficial tras irradiación far-UVC a 222 nm: estudio multicéntrico antes-después en 29 centros sanitarios de Chile

Changes in surface ATP following 222-nm far-UVC irradiation: a multicentre before-and-after study in 29 healthcare facilities in Chile

Kevin Virgilio Morales Chamorro; Gricell Jeraldina Báez Arévalo

MedETechni, Santiago, Chile

Correspondencia: research@medetechni.com

ORCID iD: Kevin Virgilio Morales Chamorro, 0000-0002-0091-692X; Gricell Jeraldina Báez Arévalo, 0009-0007-1071-4081

Resumen

Objetivo. Estimar el cambio de ATP superficial tras la aplicación ambiental de Virgilio Rays de 222 nm en Chile.

Métodos. Estudio multicéntrico antes–después sin control concurrente; 31 centros considerados, 29 tratados y 437 pares de superficies. Se aplicaron 30 minutos de emisión a una distancia operativa de 2,5 m y una espera de 10 minutos antes de la medición posterior. El ATP se midió con 3M Clean-Trace LM1 y se analizó mediante síntesis REML por centro, bootstrap agrupado y análisis de sensibilidad.

Resultados. La mediana pasó de 199 a 50 RLU; reducción combinada de 81,3% (IC95% 77,7–84,3%), I^2=84,3%. Los 437 pares descendieron. De 174 superficies inicialmente ≥250 RLU, 173 alcanzaron <250 (99,4%) y 145 alcanzaron <100 (83,3%).

Conclusiones. La cohorte documentó un descenso de ATP en todas las superficies analizadas, con variación entre centros. La contribución es una estimación multicéntrica del cambio de residuos orgánicos o biológicos después de la intervención. El diseño antes–después describe esa asociación temporal, sin aislar la contribución de UVC ni evaluar reducción de infecciones.

Abstract

Objective. To estimate surface ATP change after environmental use of 222-nm far-UVC in Chile.

Methods. Uncontrolled multicentre before-and-after study: 31 facilities considered, 29 treated, and 437 paired surface readings. A 30-minute exposure was applied at an operating distance of 2.5 m, followed by a 10-minute wait before post-cycle measurement. ATP was measured with a 3M Clean-Trace LM1. Facility-level log ratios were combined using REML, with cluster bootstrap and sensitivity analyses.

Results. Median ATP decreased from 199 to 50 RLU. The combined reduction was 81.3% (95% CI 77.7–84.3%), with I^2=84.3%. All 437 post-cycle readings were below baseline. Of 174 surfaces initially ≥250 RLU, 173 reached <250 (99.4%) and 145 reached <100 (83.3%).

Conclusions. The cohort documented an ATP decrease in all analyzed surfaces, with variation between facilities. Its contribution is a multicentre estimate of change in organic or biological residues after the intervention. The before-and-after design describes this temporal association without isolating the contribution of UVC or evaluating infection reduction.

Puntos clave

Pregunta. ¿Qué cambio de ATP superficial se observó después de la aplicación ambiental de far-UVC de 222 nm en centros sanitarios de Chile?

Hallazgos. Se analizaron 437 pares de superficies de 29 centros. La reducción combinada REML fue 81,3% (IC95% 77,7–84,3%). De las 174 superficies inicialmente ≥250 RLU, 173 alcanzaron <250 RLU y 145 alcanzaron <100 RLU.

Significado. La medición pareada y el análisis por centro cuantifican el cambio de ATP ambiental observado en la cohorte y su variación entre establecimientos.

Palabras clave

ATP; bioluminiscencia; far-UVC; 222 nm; descontaminación ambiental; estudio multicéntrico.

Keywords

ATP; bioluminescence; far-UVC; environmental hygiene; healthcare surfaces; multicentre study.

Resumen ciudadano

Se midió la señal de ATP en superficies antes y después de una intervención con luz de 222 nanómetros en 29 centros sanitarios chilenos. Las 437 ubicaciones analizadas mostraron valores menores después de la intervención. ATP es una medida de residuos orgánicos o biológicos, no una prueba de esterilidad ni un recuento directo de patógenos.

Información del artículo

Tipo de artículo: Estudio multicéntrico antes-después

Modelo de publicación: Continua

Corte de datos 22 septiembre 2026

Estudio multicéntrico antes y después de la intervención ambiental con Virgilio Rays

DOI: https://doi.org/10.68897/mjtr.2026.e0004.es

Resumen ciudadano

Se midió la señal de ATP en superficies antes y después de una intervención con luz de 222 nanómetros en 29 centros sanitarios chilenos. Las 437 ubicaciones analizadas mostraron valores menores después de la intervención. ATP es una medida de residuos orgánicos o biológicos, no una prueba de esterilidad ni un recuento directo de patógenos. No hubo un grupo de control simultáneo, por lo que no puede separarse el efecto de la radiación de otros cambios entre las mediciones.

Introducción

La evaluación cuantitativa de las superficies permite documentar cambios en la higiene ambiental de las salas de procedimientos. La bioluminiscencia de ATP ofrece una lectura inmediata de residuos biológicos u orgánicos. Su interpretación depende del equipo, la superficie y el procedimiento de muestreo; por ello, las unidades relativas de luz constituyen un desenlace propio y no equivalen directamente a recuentos de microorganismos [1].

La aplicación de radiación far-UVC de 222 nm se ha estudiado en superficies y en cámaras de aire, con diseños y desenlaces diferentes [2,3]. La evidencia obtenida con un dispositivo en un entorno no determina por sí sola el desempeño de otra configuración. Para una evaluación en terreno interesa conocer tanto la magnitud del cambio como su variación entre establecimientos y la documentación de las condiciones de aplicación.

El objetivo fue estimar el cambio pareado del ATP superficial en el conjunto chileno de la evaluación ambiental de Virgilio Rays. El análisis se concentró en las superficies de la pauta UVC y mantuvo separados los módulos de insumos, apósitos, supervisión sanitaria y atención domiciliaria del proyecto de origen.

Métodos

Diseño y ámbito

Se realizó un análisis multicéntrico antes-después, sin aleatorización ni control concurrente. La ubicación superficial fue la unidad de observación y el centro la unidad de agrupación. La planificación inicial contempló 30 centros. Finalmente se consideraron 31: 29 recibieron Virgilio Rays y dos no recibieron la intervención por dificultades de acceso y tiempo. Estos dos centros no integran la base de mediciones pareadas ni constituyen un grupo de control evaluado. Los 29 centros tratados se codificaron C01–C29; incluyen atención primaria y hospitales. La selección fue operativa, no probabilística. Corte de consolidación de datos: 22 de septiembre de 2026. Las fechas de firma y de muestreo se conservaron como campos distintos. Se utilizaron elementos de TREND para describir la evaluación no aleatorizada y de TIDieR para estructurar la descripción de la intervención, sin declarar cumplimiento integral [4,5].

Población analítica

La pauta contiene hasta 16 ubicaciones por centro: cuatro paredes, dos caras de cortina, superficie y manilla del carro, tres dispensadores, tres sectores de camilla, mouse y tecla espacio. El conjunto principal conservó 437 pares completos [6]. Dos ubicaciones de C19 tenían lectura basal sin lectura posterior y se excluyeron sin imputación. Dos pares completos de C02 estaban descritos fuera del alcance del equipo y una tapa de amonio en C11 figuraba como muestra extra; se conservaron en un conjunto suplementario con sensibilidad de inclusión. De 464 posiciones teóricas de la pauta, 23 no tenían medición en ambos momentos. La ausencia física y el campo vacío se mantuvieron diferenciados cuando la fuente lo permitía.

Intervención y muestreo

Se utilizó Virgilio Rays, sistema móvil de fuente KrCl filtrada nominal de 222 nm. En los 29 centros tratados se efectuó la lectura basal de ATP inmediatamente antes de iniciar la aplicación de UV. La emisión duró 30 minutos, a una distancia operativa de 2,5 m; a continuación se esperaron 10 minutos antes de la segunda y última medición. La etiqueta T40 conserva el significado de lectura posterior al ciclo y espera; las fichas no aportan marcas horarias individuales.

Medición del ATP

El Instituto Nacional de Heridas (INH) realizó el muestreo y la tabulación inicial y entregó la base a MedETechni para el análisis. El INH ratificó los datos y su identificación por centro, superficie e incidencia. El ATP se registró mediante luminómetro 3M Clean-Trace LM1. El protocolo describe una plantilla de 5 cm² y muestreo de la misma ubicación antes y después; el área efectivamente hisopada, la calibración, los lotes de hisopo y las repeticiones técnicas no constan uniformemente. Se normalizaron URL/RLU a ATP-RLU. Los colores originales se auditaron por separado de la clasificación numérica derivada.

Las lecturas individuales se estratificaron con bandas de referencia publicadas para Clean-Trace: <100 RLU, 100–249 RLU y ≥ 250 RLU [7–10]. Las dos primeras conservan las denominaciones bibliográficas «muy limpio» y «limpio» solo para la descripción analítica; ≥ 250 indica que se excede el benchmark del estudio. Son bandas adaptadas, sin reproducir el algoritmo de hisopados duplicados de Pontes para instrumental quirúrgico [7]. La convención ≥ 250 asigna explícitamente el valor exacto de frontera. El benchmark no constituye una norma universal ni un requisito regulatorio del fabricante. ATP refleja residuos orgánicos o biológicos detectables y no equivale directamente a UFC, ausencia de patógenos, esterilidad ni reducción de IAAS [1,7–10].

Para cada par se calculó ΔRLU=PRE−POST y reducción porcentual=100×(PRE−POST)/PRE. Si PRE=0, el porcentaje se declara no calculable y se analiza el cambio absoluto. Los valores continuos son el resultado cuantitativo principal; las categorías son complementarias. La cohorte actual no contiene ceros PRE ni POST. Los análisis logarítmicos requieren ambos valores positivos; no se añaden pseudocuentas.

Dosimetría y ejecución

La radiometría histórica consigna 0,015 mW/cm² a 2,5 m, equivalente a una exposición radiante de referencia de 27 mJ/cm² en 30 minutos. La distancia nominal coincide con la distancia operativa del estudio. No se realizaron mediciones radiométricas por superficie durante el muestreo, por lo que esta referencia no se asignó como dosis real recibida. El intervalo de 10 minutos corresponde a la segunda medición de ATP y no se interpreta como validación de seguridad de reocupación.

Análisis estadístico

Se calculó para cada par la razón posterior/basal y su logaritmo natural. Por centro se estimaron la media del logaritmo y su varianza muestral dividida entre el número de pares. El estimador principal fue una síntesis de efectos aleatorios con varianza entre centros estimada por máxima verosimilitud restringida (REML). La transformación 1-exp(μ) expresa la reducción combinada. Se informaron IC95% normal, sensibilidad Hartung-Knapp, I^2, τ^2 e intervalo de predicción con distribución t. El plan analítico se documentó después de disponer de datos y no se presenta como prerregistro. La varianza local de la media presupone independencia residual del muestreo dentro del centro; el bootstrap agrupado y los modelos alternativos evalúan robustez sin demostrar ese supuesto.

Robustez e inferencia

Un estadístico revisó y ratificó el emparejamiento, la agrupación por centro y el análisis. Se aplicaron un modelo de intercepto aleatorio, GEE gaussiana intercambiable y OLS con errores robustos por centro. El bootstrap remuestreó 29 centros completos con reemplazo durante 50.000 réplicas, semilla 2222026. Se evaluó la exclusión sucesiva de cada centro, la carga basal extrema, incidencias de fuente y los tres pares suplementarios. Las comparaciones por tipo de superficie y los modelos ajustados fueron exploratorios. Se corrigieron las familias de coeficientes ajustados con Benjamini-Hochberg. Las pruebas pareadas individuales se entregan como resultados secundarios que no modelan la dependencia dentro de cada centro; la prueba de signo por centro conserva la agrupación.

Ética y confidencialidad

El proyecto de origen cuenta con carta de aprobación del Comité Ético Científico de la Fundación Instituto Nacional de Heridas (CEC–FINH), de fecha 4 de mayo de 2026, para el protocolo «Monitoreo de Condiciones Sanitarias y Manejo de Insumos Clínicos en la Curación de heridas en Salas de procedimientos y Atención Domiciliaria». La aprobación cubrió desde el inicio los procedimientos realizados y el comité estuvo informado de su ejecución. Este análisis utiliza mediciones ambientales, sin datos individuales de pacientes. Los centros se presentan codificados C01–C29; la correspondencia nominal y los documentos identificables quedan en custodia interna.

Resultados

Se analizaron 437 pares de mediciones de superficies de 29 centros. Los valores se cotejaron con las tablas originales y conservaron identificadores únicos por centro y superficie.

Tabla 1. Resultados generales de ATP en los 437 pares de superficies.

Indicador	Resultado
Centros	29
Pares	437
ATP basal mediana (RIC)	199 (133-422) RLU
ATP posterior mediana (RIC)	50 (28-82) RLU
Suma basal y posterior	195.637 / 24.567 RLU
Reducción agregada	87,4%
Reducción geométrica individual	81,4%
Síntesis por centro REML	81,3% (77,7%-84,3%)
Pares con descenso	437/437
Posterior <100 RLU	406/437 (92,9%)

La reducción REML fue 81,3% (IC95% 77,7%-84,3%). La heterogeneidad fue I^2=84,3% y τ^2=0,189; el intervalo de predicción fue 53,5%-92,5%. Hartung-Knapp produjo un IC95% de 77,5%-84,4%. La prueba bilateral de signo por centro fue $p=3{,}73\times10^{-9}$. Los efectos por centro y los pares originales se muestran en las figuras 1 y 2.

El modelo mixto estimó una reducción de 81,6% (IC95% 78,0%-84,6%). Para la reducción geométrica individual de 81,4% el bootstrap por centro produjo un IC95% de 78,0%-84,4%. La reducción agregada de 87,4% tuvo un IC95% bootstrap de 84,8%-89,6%. Estos estimadores ponderan de forma diferente y no son intercambiables.

La mediana de la reducción individual fue 78,5%, la media aritmética 73,6% y el descenso absoluto mediano 151 RLU. El valor posterior fue <100 RLU en 406/437 ubicaciones (92,9%). La matriz pareada de clasificación operativa se desarrolla a continuación. La figura 3 conserva la matriz de transición completa.

PRE: media 447,7 RLU (DE 634,2); POST: media 56,2 RLU (DE 37,0). ΔRLU: media 391,5 (DE 620,6), mediana 151 (RIC 86–373). Reducción porcentual individual: media 73,6% (DE 19,9), mediana 78,5% (RIC 63,0–89,1).

Tabla 2. Reducción geométrica de ATP por tipo de superficie e intervalos bootstrap por centro.

Superficie	n	Reducción geométrica	IC95% bootstrap por centro
Camillas	87	77,9%	72,2%-83,0%
Carros, mesas y manillas	58	81,4%	77,0%-85,1%
Cortinas	40	84,1%	78,0%-88,8%
Dispensadores	82	77,6%	73,3%-81,4%
Paredes	116	75,7%	68,2%-82,1%
Área administrativa	54	93,3%	90,8%-95,1%

El centro C29 presentó descenso en sus 14 ubicaciones y una reducción agregada de 88,3% (11.818 a 1.378 RLU). Nueve de sus 14 valores posteriores fueron <100 RLU. La mayor lectura residual fue 303 RLU en la tecla espacio. El formulario señaló ausencia de cortina en la primera cara y dejó vacía la segunda; no se imputaron lecturas.

Al omitir un centro por vez, la reducción geométrica individual osciló entre 80,6% y 82,0%. El análisis previo sin C29 conservó 423 pares y una reducción geométrica de 81,4%. Al incluir los tres pares suplementarios, el total fue 440 y la reducción geométrica 81,6%, con reducción agregada de 88,2%. C07 y C17 se analizaron como establecimientos distintos. Al excluir C07, C17 o ambos, la reducción REML fue 81,3–81,4%; al excluir ambos, el IC95% fue 77,6–84,6%. Los análisis de sensibilidad conservaron la dirección y la magnitud aproximada del resultado.

Cambio de categoría de limpieza

Tabla 3. Matriz de transición entre categorías del benchmark analítico de ATP.

PRE / POST	<100 RLU	100–249 RLU	≥250 RLU	Total PRE
<100 RLU	63	0	0	63
100–249 RLU	198	2	0	200
≥250 RLU	145	28	1	174
Total POST	406	30	1	437

De las 174 superficies con ATP-RLU PRE ≥ 250, 145 alcanzaron <100 (83,3%), 28 alcanzaron 100–249 (16,1%) y una permaneció ≥ 250 (0,6%). La conversión combinada a <250 fue 173/174 (99,4%). De las 200 inicialmente limpias, 198 pasaron a muy limpio y dos permanecieron limpias. Las 63 inicialmente muy limpias permanecieron en esa categoría. Mejoraron de categoría 371/437 (84,9%), permanecieron iguales 66/437 (15,1%) y empeoraron 0/437 (0%). Los valores <100 aumentaron de 63/437 (14,4%) a 406/437 (92,9%); los valores 100–249 pasaron de 200/437 (45,8%) a 30/437 (6,9%); los valores ≥ 250 disminuyeron de 174/437 (39,8%) a 1/437 (0,2%).

El IC95% por bootstrap de centros fue 98,1–100% para la conversión a <250 y 74,2–91,5% para la conversión a <100 (50.000 réplicas). Son intervalos de remuestreo de la cohorte observada; un extremo de 100% no demuestra certeza poblacional. Los 29 centros aumentaron su proporción <250 (signo bilateral por centro $p=3{,}73\times10^{-9}$). El anexo por centro incluye descriptivos, las nueve transiciones, IC Wilson descriptivos y pruebas pareadas exploratorias.

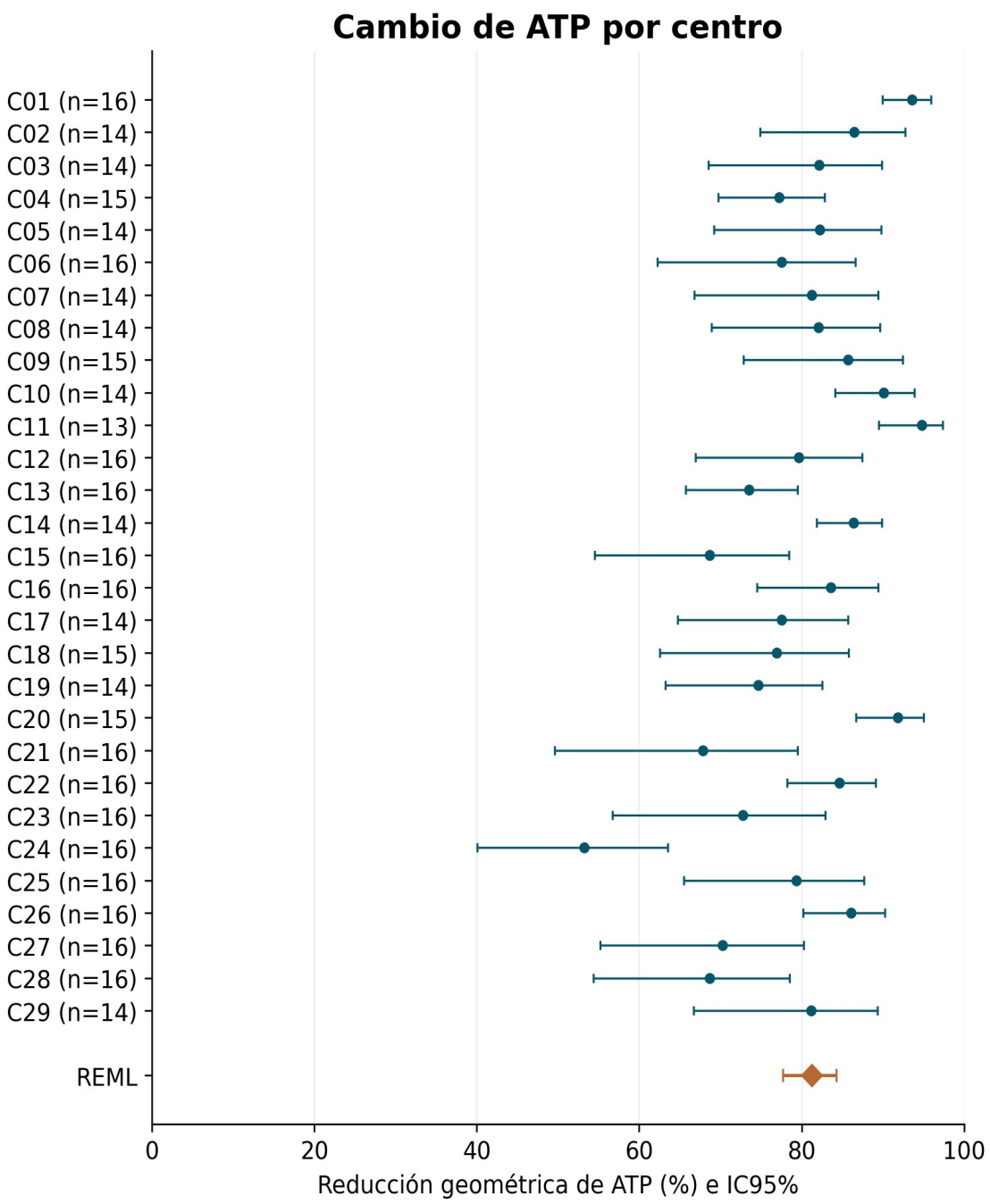

Figura 1. Reducción geométrica de ATP por centro y síntesis REML. Cada centro resume los logaritmos POST/PRE de sus superficies; IC95% locales mediante t con n−1 grados de libertad. El diamante resume el modelo REML con IC95% normal. Los intervalos locales son descriptivos y no eliminan la dependencia de superficies dentro de cada centro. La magnitud es reducción de señal ATP, no inactivación microbiana.

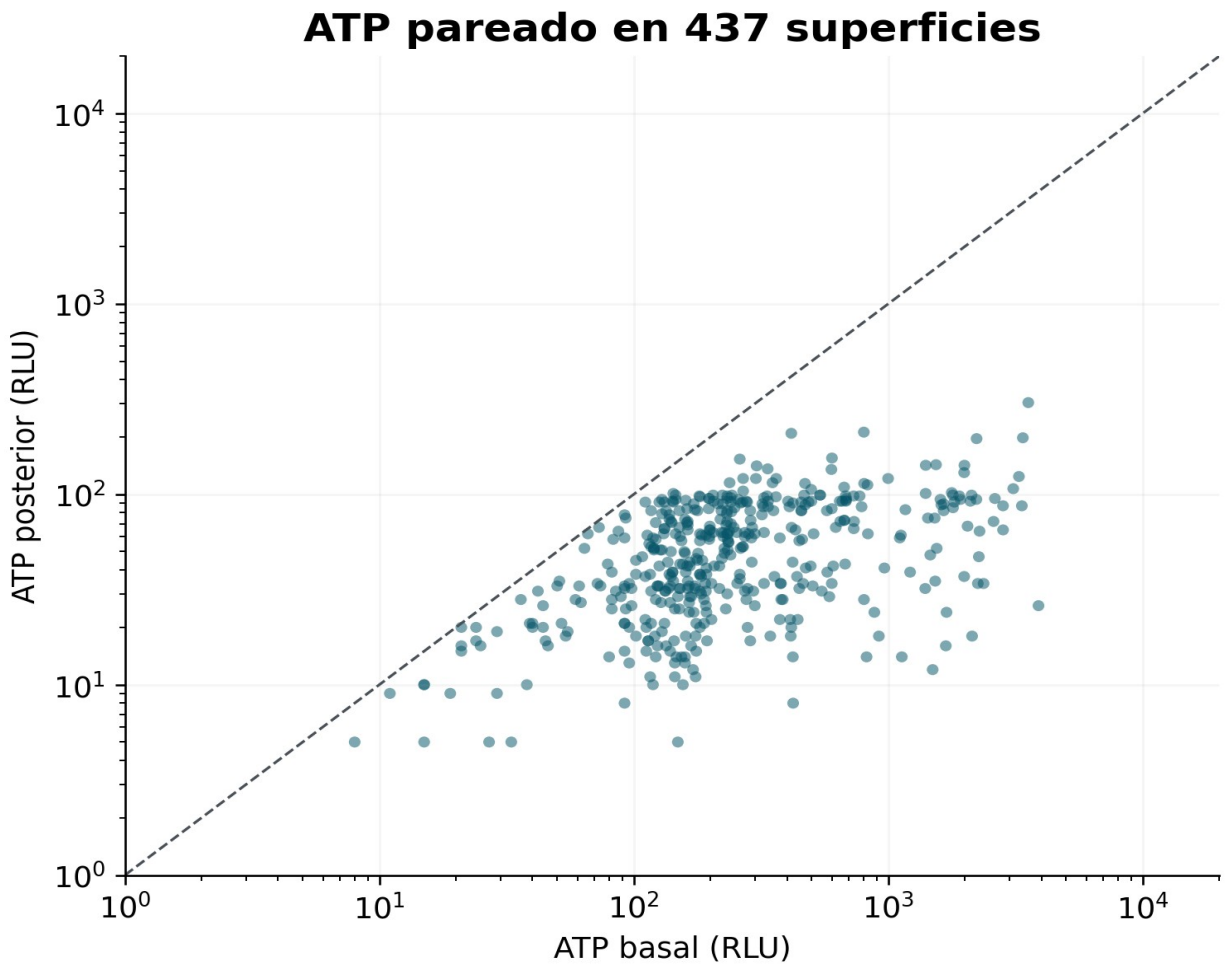

Figura 2. ATP antes y después en los 437 pares. Ambos ejes usan escala logarítmica; cada punto corresponde a una superficie codificada. La línea diagonal representa ausencia de cambio. Los 437 valores posteriores fueron inferiores a sus basales; puntos superpuestos no representan datos faltantes. El diseño no contiene un control concurrente.

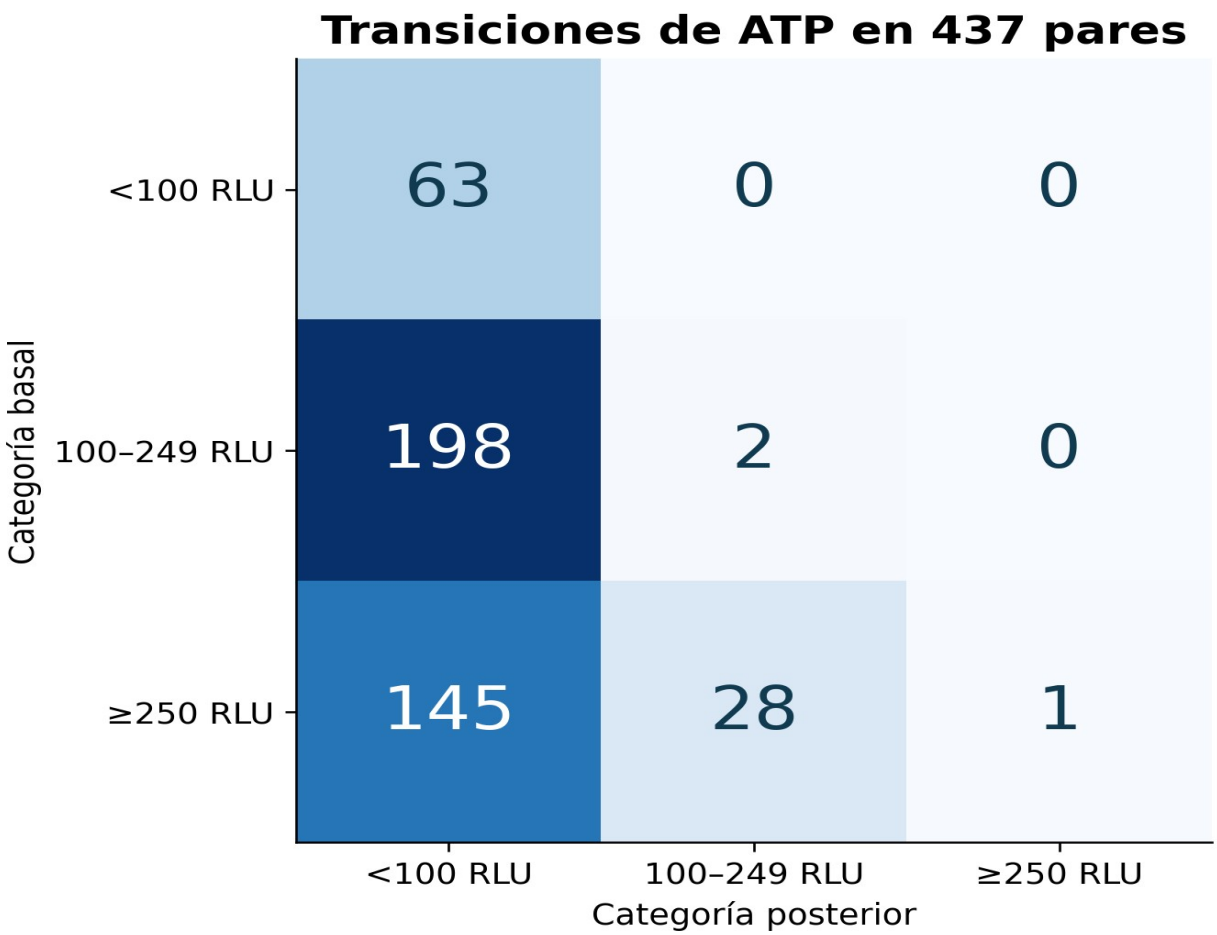

Figura 3. Matriz de transición de los 437 pares entre categorías de ATP. Filas: categoría basal; columnas: categoría posterior. Los umbrales <100, 100–249 y ≥250 RLU son el benchmark analítico del estudio, sin atribuirles validez regulatoria universal. Las celdas conservan conteos absolutos; no son porcentajes ni desenlaces de infección.

Discusión

El conjunto chileno mostró una reducción de ATP superficial consistente en dirección y variable en magnitud. El análisis por centro y las sensibilidades conservaron un resultado semejante, lo que indica que la estimación no depende de un único establecimiento ni de la incorporación del último centro. La síntesis cuantifica una asociación temporal observada durante la intervención ambiental.

La reducción agregada de 87,4% es superior a la media aritmética de 73,6% porque concede mayor influencia a superficies con señal basal elevada. La síntesis REML y la reducción geométrica se sitúan alrededor del 81%. Informar estas métricas por separado evita presentar el porcentaje de la suma de RLU como si fuera el cambio típico de cada superficie.

Las bandas de ATP organizan el resultado ambiental con un benchmark bibliográfico adaptado a lecturas individuales. El umbral de 250 RLU se interpreta según el procedimiento de este estudio y no como norma universal o requisito regulatorio. ATP caracteriza residuos orgánicos o biológicos detectables; los recuentos de microorganismos viables y las IAAS son desenlaces distintos que no se midieron aquí. [1,7–10]

Alcance y limitaciones

El diseño multicéntrico antes–después permite describir el cambio temporal de ATP en las superficies medidas. La ausencia de un control concurrente y de mediciones basales repetidas impide separar el efecto de la radiación de la limpieza intercurrente, el primer hisopado, la variación natural y la regresión a la media. La coincidencia o adyacencia exacta del área muestreada no se documentó uniformemente, ni hubo controles de muestreo o mediciones de persistencia. La carga basal integra el denominador de la reducción porcentual, por lo que su asociación con la respuesta también tiene un componente matemático.

La selección operativa y la heterogeneidad delimitan los resultados a la cohorte observada. El ciclo aplicado fue de 30 minutos a 2,5 m, con 10 minutos de espera; los registros individuales de hora, radiometría, calibración y área efectiva tuvieron documentación desigual. La bitácora técnica de 26 visitas aporta contexto y no se enlaza completamente con C01–C29.

Conclusiones

En las 437 superficies analizadas de 29 centros sanitarios, el ATP posterior fue menor que el basal. La mediana disminuyó de 199 a 50 RLU y la síntesis REML por centro estimó una reducción de 81,3% (IC95% 77,7–84,3%), con heterogeneidad alta (I^2=84,3%). De las 174 superficies inicialmente ≥ 250 RLU, 173 descendieron a <250 y 145 a <100; estos umbrales son el benchmark analítico definido para el estudio.

El estudio aporta una estimación multicéntrica reproducible de un descenso de ATP observado en todos los pares, con magnitud variable entre establecimientos. La concordancia de dirección y los análisis de sensibilidad describen la consistencia del resultado ambiental en esta cohorte. La estimación se refiere al cambio

posterior a la intervención y conserva el alcance asociativo del diseño; no cuantifica un efecto exclusivo de UVC ni una reducción de microorganismos viables o infecciones.

Disponibilidad de datos y declaraciones

El conjunto de datos codificado v9.4, su diccionario, las tablas estadísticas, las figuras y el código reproducible se incluyen como material complementario. Los centros se mantienen codificados; la correspondencia nominal y los originales identificables quedan en custodia interna.

Financiación, contribuciones y transparencia

MedETechni aportó los recursos, el dispositivo, la logística y el trabajo de análisis y preparación de este estudio. Se reconoce el apoyo de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID), concurso Startup Ciencia 2025, proyecto SUC250032. El Instituto Nacional de Heridas (INH) realizó el muestreo y la tabulación inicial y entregó los datos a MedETechni para su análisis. La adjudicación del proyecto está documentada en la Resolución Exenta ANID N.º 3325/2025.

Los autores están vinculados a MedETechni, desarrolladora de Virgilio Rays y editora de MedETechni Journal of Translational Research. Se declara esta relación comercial y editorial. El análisis se realizó con participación del promotor. El INH ratificó la base de datos y un estadístico revisó el emparejamiento, la agrupación por centro y el análisis.

Kevin Virgilio Morales Chamorro y Gricell Jeraldina Báez Arévalo: análisis, interpretación y redacción. Agradecimiento a Anabell Chamorro por logística y administración del proyecto.

Se utilizó inteligencia artificial generativa basada en un modelo de lenguaje, mediante Codex (OpenAI; modelo GPT-6.1 Sol), para preparar código de análisis, revisar la consistencia, redactar y maquetar documentos y figuras. El código y las fuentes permiten la comprobación; la revisión y la responsabilidad científica final corresponden a los autores.

Referencias

1. Sanna T, Dallolio L, Raggi A, Mazzetti M, Lorusso G, Zanni A, et al. ATP bioluminescence assay for evaluating cleaning practices in operating theatres: applicability and limitations. BMC Infect Dis. 2018;18(1):583. doi:10.1186/s12879-018-3505-y.

2. Leow CH, Saw LH, Low FS, King YJ. Investigations on the surface disinfection efficacy of far-UVC 222 nm germicidal irradiance device in a controlled environment and field test. J Environ Health Sci Eng. 2024;22(2):569–577. doi:10.1007/s40201-024-00918-w.

3. Eadie E, Hiwar W, Fletcher L, Tidswell E, O'Mahoney P, Buonanno M, et al. Far-UVC (222 nm) efficiently inactivates an airborne pathogen in a room-sized chamber. Sci Rep. 2022;12(1):4373. doi:10.1038/s41598-022-08462-z.

4. Des Jarlais DC, Lyles C, Crepaz N; TREND Group. Improving the Reporting Quality of Nonrandomized Evaluations of Behavioral and Public Health Interventions: The TREND Statement. Am J Public Health. 2004;94(3):361–366. doi:10.2105/AJPH.94.3.361.

5. Hoffmann TC, Glasziou PP, Boutron I, Milne R, Perera R, Moher D, et al. Better reporting of interventions: template for intervention description and replication (TIDieR) checklist and guide. BMJ. 2014;348:g1687. doi:10.1136/bmj.g1687.

6. MedETechni. Expediente ambiental UVC 222 nm: base de 29 centros y 437 pares [conjunto de datos y código de análisis]. Versión 9.4. Santiago: MedETechni; 2026. Corte documental: 22 de septiembre de 2026. Datos primarios codificados y código de análisis adjuntos al artículo.

7. Pontes DO, Costa DM, da Silva Pereira PP, Whiteley GS, Glasbey T, Tipple AFV. Adenosine triphosphate (ATP) sampling algorithm for monitoring the cleanliness of surgical instruments. PLoS One. 2023;18(8):e0284967. doi:10.1371/journal.pone.0284967.

8. Amin SR, Folkert CM, Erie JC. Assessing the Effectiveness of Surface Cleaning Methods in Intravitreal Injection Procedure Rooms. Ophthalmology. 2014;121(1):276–282. doi:10.1016/j.ophtha.2013.08.006.

9. Moore G, Smyth D, Singleton J, Wilson P. The use of adenosine triphosphate bioluminescence to assess the efficacy of a modified cleaning program implemented within an intensive care setting. Am J Infect Control. 2010;38(8):617–622. doi:10.1016/j.ajic.2010.02.011.

10. Nante N, Ceriale E, Messina G, Lenzi D, Manzi P. Effectiveness of ATP bioluminescence to assess hospital cleaning: a review. J Prev Med Hyg. 2017;58(2):E177–E183. PMID:28900359.