



# Modelos óptimos de construcción hospitalaria para disminuir infecciones en Piura y Castilla: revisión sistemática

Optimal hospital construction models to reduce infections in piura and castilla: a systematic review

*Modelos ótimos de construção hospitalar para reduzir infecções em piura e castilla: revisão sistemática*

## ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil  
o revisa este artículo en:  
<https://doi.org/10.33996/revistavive.v8i23.410>

**Giovanna Iris Lizbeth Jara Ávila** 

[giovannajaraavila@gmail.com](mailto:giovannajaraavila@gmail.com)

Universidad César Vallejo. Lima, Perú

Artículo recibido 12 de marzo 2025 / Aceptado 26 de abril 2025 / Publicado 1 de mayo 2025

## RESUMEN

Esta revisión sistemática analiza modelos óptimos de construcción hospitalaria para reducir IHH en las regiones de Piura y Castilla, caracterizadas por clima tropical y alta vulnerabilidad epidemiológica. El objetivo fue sintetizar evidencias sobre diseños arquitectónicos, sistemas de ventilación y protocolos constructivos efectivos. Tras aplicar la metodología PRISMA, se identificaron 153 estudios en PubMed, Scopus, Web of Science y repositorios regionales; tras cribado por criterios de inclusión (artículos en español/inglés de 20 años, enfoque en reducción de IHH) y exclusión (documentos sin acceso completo, revisiones narrativas o baja calidad metodológica), se incluyeron 11 investigaciones. Los resultados demuestran que modelos integrados (bioclimáticos adaptados, ventilación híbrida y gestión colaborativa) reducen IHH hasta en 52%, aunque su implementación enfrenta barreras técnicas y económicas. Se concluye que la adopción de estrategias contextualizadas, costo-eficientes y colaborativas es necesaria para transformar la infraestructura sanitaria en una "barrera activa" contra infecciones en estas regiones.

**Palabras clave:** Arquitectura hospitalaria bioclimática; Control infecciones constructivas; Gestión colaborativa construcción; Modelos 3C salud; Optimización flujos hospitalarios; Resiliencia hospitalaria tropical

## ABSTRACT

This systematic review analyzes optimal hospital construction models to reduce healthcare-associated infections (HAIs) in the Piura and Castilla regions, characterized by tropical climate and high epidemiological vulnerability. The objective was to synthesize evidence on architectural designs, ventilation systems, and effective construction protocols. Following the PRISMA methodology, 153 studies were identified in PubMed, Scopus, Web of Science, and regional repositories; after screening by inclusion criteria (articles in Spanish/English from the last 20 years, focus on HAI reduction) and exclusion criteria (documents without full access, narrative reviews, or low methodological quality), 11 studies were included. Results show that integrated models (adapted bioclimatic designs, hybrid ventilation, and collaborative management) reduce HAIs by up to 52%, although their implementation faces technical and economic barriers. It is concluded that adopting contextualized, cost-effective, and collaborative strategies is necessary to transform healthcare infrastructure into an "active barrier" against infections in these regions.

**Key words:** Bioclimatic hospital architecture; Construction infection control; Collaborative construction management; 3C health models; Hospital flow optimization; Tropical hospital resilience

## RESUMO

Esta revisão sistemática analisa modelos ótimos de construção hospitalar para reduzir infecções associadas à assistência à saúde (IIAS) nas regiões de Piura e Castilla, caracterizadas por clima tropical e alta vulnerabilidade epidemiológica. O objetivo foi sintetizar evidências sobre projetos arquitetônicos, sistemas de ventilação e protocolos construtivos eficazes. Após aplicar a metodologia PRISMA, foram identificados 153 estudos nas bases PubMed, Scopus, Web of Science e repositórios regionais; após triagem pelos critérios de inclusão (artigos em espanhol/inglês dos últimos 20 anos, foco na redução de IIAS) e exclusão (documentos sem acesso completo, revisões narrativas ou baixa qualidade metodológica), 11 pesquisas foram incluídas. Os resultados demonstram que modelos integrados (projetos bioclimáticos adaptados, ventilação híbrida e gestão colaborativa) reduzem IIAS em até 52%, embora sua implementação enfrente barreiras técnicas e econômicas. Conclui-se que a adoção de estratégias contextualizadas, custo-efetivas e colaborativas é necessária para transformar a infraestrutura sanitária em uma "barreira ativa" contra infecções nessas regiões.

**Palavras-chave:** Arquitetura hospitalar bioclimática; Controle de infecções na construção; Gestão colaborativa da construção; Modelos 3C em saúde; Otimização dos fluxos hospitalares; Resiliência hospitalar tropical

## INTRODUCCIÓN

La construcción y renovación hospitalaria representan un desafío crítico en la prevención de infecciones nosocomiales, ya que las actividades relacionadas pueden generar riesgos significativos para la salud de los pacientes y el personal sanitario. El polvo, la alteración de sistemas de ventilación y la contaminación ambiental son factores que pueden incrementar la incidencia de infecciones intrahospitalarias, afectando la seguridad y calidad del cuidado (1, 2). Por ello, es fundamental implementar modelos óptimos de construcción hospitalaria que integren medidas de control de infecciones desde la planificación hasta la ejecución, garantizando ambientes seguros y funcionales.

En regiones como Piura y Castilla, donde la demanda de infraestructura sanitaria adecuada es alta, la construcción de centros de salud debe considerar la ampliación y modernización y también la minimización de riesgos infecciosos. La inversión significativa en proyectos hospitalarios en estas zonas refleja la necesidad de optimizar los diseños y procesos constructivos para proteger a la población vulnerable y mejorar los resultados en salud (3).

Históricamente, la vigilancia y control de infecciones intrahospitalarias han evolucionado desde la creación de comités especializados y programas de vigilancia epidemiológica en hospitales, con un enfoque multidisciplinario que

incluye médicos, microbiólogos y enfermeros especializados (4, 5). En la última década, se ha enfatizado la importancia de la participación activa del personal de control de infecciones durante todas las etapas de construcción y renovación hospitalaria, incluyendo la planificación, diseño e implementación, para prevenir brotes de infecciones.

Estudios internacionales han demostrado que hasta un 32% de las infecciones nosocomiales pueden prevenirse mediante programas adecuados de control y vigilancia, con especial atención en áreas de mayor riesgo como unidades de cuidados intensivos y quirófanos (6). Además, la incorporación de sistemas mecánicos eficientes, como ventilación y filtración de aire, así como el diseño de cuartos de aislamiento y puntos adecuados para lavado de manos, son componentes clave para reducir la transmisión de agentes infecciosos en hospitales.

Autores como Almada (2) y Lizzi (1) destacan que la educación y capacitación del personal involucrado en la construcción, desde arquitectos hasta operarios, es esencial para asegurar el cumplimiento de estándares de control de infecciones. Asimismo, la implementación de barreras físicas, control de presión de aire y monitoreo constante de las áreas en construcción son estrategias fundamentales para minimizar la contaminación ambiental y proteger a pacientes inmunocomprometidos.

En el contexto específico de Piura y Castilla, la problemática radica en la necesidad de adaptar los modelos de construcción hospitalaria a las condiciones locales, considerando factores climáticos, demográficos y de infraestructura existente. La alta incidencia de infecciones intrahospitalarias en estas regiones, sumada a la reciente expansión de centros de salud, exige un enfoque sistemático para identificar y aplicar modelos constructivos que reduzcan efectivamente estos riesgos.

El objetivo de esta revisión sistemática es sintetizar los modelos óptimos de construcción hospitalaria que contribuyan a disminuir las infecciones intrahospitalarias en las regiones de Piura y Castilla. Las variables de estudio incluyen los diseños arquitectónicos, sistemas de ventilación y filtración, protocolos de control de infecciones, capacitación del personal y resultados en la incidencia de infecciones.

### **Marco Teórico: Fundamentos integrados para la construcción hospitalaria segura en contextos tropicales**

La arquitectura hospitalaria como herramienta epidemiológica posee raíces históricas profundas que se remontan al paradigma higienista decimonónico. Como analiza De Micheli (7), la transformación de los nosocomios de meros depósitos de enfermos a espacios terapéuticos comenzó con las innovaciones de Florence Nightingale durante la Guerra de Crimea, donde

sistematizó observaciones demostrando que la ventilación cruzada y la exposición solar directa reducían drásticamente las tasas de mortalidad por infecciones nosocomiales. Este enfoque pionero se consolidó posteriormente con los principios de pavillonismo, que establecían distancias mínimas entre pabellones para impedir la transmisión masiva de patógenos mediante barreras físicas pasivas.

En el contexto latinoamericano, como documenta el Sanatorio Argentino (5), los primeros comités anti infecciones institucionalizados durante los años 1940 formalizaron la correlación entre configuración espacial y control bacteriano, estableciendo protocolos de zonificación que anticipaban conceptos modernos de flujos segmentados. Sin embargo, fue la emergencia global del VIH/SIDA en la década de 1980 la que catalizó definitivamente los protocolos contemporáneos de aislamiento, incorporando sistemas de presión diferencial y circuitos de circulación controlada como componentes estructurales no negociables en el diseño hospitalario moderno. Esta evolución histórica demuestra cómo las crisis sanitarias han impulsado saltos cualitativos en la concepción arquitectónica de los espacios de salud.

La física de los aerosoles proporciona el sustento científico para comprender cómo la configuración de los sistemas de ventilación determina directamente la dinámica

epidemiológica intrahospitalaria. Jacob et al. (8) establecen que patógenos respiratorios críticos como *Mycobacterium tuberculosis* o SARS-CoV-2 persisten suspendidos en micropartículas de 1-5  $\mu\text{m}$ , cuyo comportamiento aerodinámico depende críticamente de tres variables interrelacionadas: tasas de renovación de aire óptimas (particularmente 12-15 cambios/hora en unidades de cuidados intensivos), patrones de flujo unidireccional que previenen retrocesos de aire contaminado hacia áreas limpias, y gradientes de presión mantenidos con diferenciales mínimos de 2.5 Pa en áreas críticas como quirófanos y salas de aislamiento.

Complementariamente, Sydnor y Perl (9) explican que la persistencia bacteriana en superficies sigue patrones de decaimiento exponencial modulados por factores ambientales, lo que fundamenta técnicamente por qué revestimientos antimicrobianos de cobre reducen hasta 90% la carga bacteriana comparada con acero inoxidable en períodos de dos horas. Estos principios biofísicos adquieren especial relevancia en contextos como Piura, donde la humedad relativa promedio del 85% crea condiciones ideales para la supervivencia prolongada de patógenos en superficies y aerosoles, amplificando los riesgos de transmisión nosocomial en ausencia de diseños arquitectónicos adecuados.

La sostenibilidad arquitectónica ha trascendido su enfoque ecológico inicial para

erigirse como estrategia anti infecciosa integral con beneficios demostrados. Uribe y Arboleda (10) documentan en el Hospital Verde de Antioquia cómo la implementación de criterios LEED específicos para calidad del aire interior (EQc8) y confort térmico (EQc10) se correlaciona con reducciones del 40% en infecciones intrahospitalarias mediante soluciones pasivas como fachadas ventiladas que disipan calor sin consumo energético, jardines terapéuticos con especies fitodepuradoras que absorben compuestos orgánicos volátiles, y materiales de baja emisión que previenen el síndrome del edificio enfermo.

Esta aproximación se complementa con estrategias de reconversión adaptativa como las validadas por Juan et al. (11), donde la transformación de infraestructuras educativas en hospitales temporales durante pandemias mitiga riesgos constructivos asociados a emisión de partículas y vibraciones, reduciendo simultáneamente los tiempos de implementación en 60% comparado con construcciones ex-novo, ventaja crítica en contextos de emergencia sanitaria.

La revolución digital ha introducido herramientas computacionales sofisticadas para la gestión de flujos críticos en entornos hospitalarios. Ma et al. (2022) (12) desarrollaron algoritmos de dinámica de fluidos computacional (CFD) que optimizan la distribución espacial en

instalaciones temporales mediante modelado predictivo tridimensional, logrando reducciones del 52% en contagios mediante principios como la orientación perpendicular de camas respecto a los flujos de aire dominantes y el establecimiento de presión negativa permanente en áreas de alto riesgo como unidades de triaje y servicios sanitarios.

Simultáneamente, Wang et al. (13) aplicaron teoría de grafos avanzada para diseñar protocolos de evacuación masiva, demostrando que la conectividad óptima entre módulos requiere mantener coeficientes de agrupamiento inferiores a 0.3 para prevenir cuellos de botella durante emergencias, consideración particularmente vital para regiones como Castilla con alta exposición a inundaciones por fenómenos de El Niño. Estas soluciones tecnológicas representan avances significativos en la capacidad predictiva de los diseños arquitectónicos para mitigar riesgos infecciosos.

La fase constructiva en sí misma genera amenazas específicas que demandan protocolos dinámicos de bioseguridad. Almada (2) identifica tres categorías principales de riesgo: contaminación particulada, donde barreras físicas con filtros  $MERV \geq 13$  reducen 71% las esporas de *Aspergillus*; vibraciones estructurales, mitigadas mediante sistemas de aislamiento acústico que previenen microfisuras en salas limpias; y contaminación cruzada, controlada

con sistemas de presurización escalonada que previenen 89% de translocaciones bacterianas.

Como enfatiza Lizzi (1), la efectividad de estas medidas depende críticamente de programas de capacitación situada para trabajadores de la construcción, dado que 68% de las brechas en bioseguridad se originan en desconocimiento de principios básicos de zonificación roja/verde. El modelo cubano descrito por Izquierdo-Cubas et al. (6) aborda este desafío mediante certificaciones obligatorias de competencia anti infecciosa que incluyen entrenamiento práctico en técnicas de contención y monitoreo ambiental, estableciendo un precedente valioso para contextos con recursos limitados.

La adaptación climática constituye un eje fundamental para regiones tropicales como Piura, donde las condiciones ambientales exacerban los riesgos infecciosos. Toesca et al. (14), desarrollaron índices de estrés térmico hospitalario que cuantifican cómo valores superiores a 28°C incrementan 30% la supervivencia bacteriana en superficies, proponiendo soluciones bioclimáticas específicas como muros Trombe con arcillas locales que estabilizan temperaturas en rangos óptimos ( $22 \pm 2^\circ\text{C}$ ), torres de captación eólica que optimizan ventilación natural sin consumo eléctrico, y corredores perimetrales con vegetación endémica como el algarrobo (*Prosopis pallida*) que reducen carga térmica mediante evapotranspiración.

Sin embargo, la implementación efectiva de estas soluciones enfrenta desafíos de gobernanza, como evidencia el Gobierno Regional de Piura (3) al documentar fragmentación normativa entre reglamentos sanitarios, códigos de construcción y protocolos epidemiológicos. Esta desconexión institucional puede superarse mediante estrategias integradoras como la inclusión de cláusulas anti infecciosas específicas en procesos licitatorios, la implementación de auditorías concurrentes por comités multidisciplinarios, y el despliegue de redes de sensores IoT que monitoreen parámetros críticos en tiempo real.

La integración exitosa de estos elementos requiere superar barreras operativas mediante estrategias colaborativas. La experiencia del modelo cubano ilustra cómo la certificación obligatoria de competencias para trabajadores de la construcción en protocolos de bioseguridad reduce significativamente incidentes de contaminación cruzada durante obras de ampliación o renovación. Paralelamente, el uso de plataformas digitales para capacitación continua en normas ISO 14644 garantiza que arquitectos, ingenieros y personal médico compartan lenguajes comunes sobre gestión de riesgos infecciosos.

Estas iniciativas deben complementarse con sistemas de monitoreo inteligente que generen alertas tempranas cuando parámetros como concentración de CO<sub>2</sub> (>800 ppm) o humedad relativa (>70%) excedan umbrales

seguros, permitiendo intervenciones correctivas inmediatas.

En síntesis, la construcción hospitalaria segura en Piura y Castilla demanda la articulación sinérgica de cuatro revoluciones conceptuales: la revolución bioclimática, que adapta los principios del diseño pasivo a las condiciones del trópico seco utilizando materiales y técnicas locales; la revolución computacional, que emplea modelado predictivo para optimizar flujos de aire, personas y materiales; la revolución colaborativa, que establece sistemas de certificación continua para todos los actores involucrados en el proceso constructivo; y la revolución resiliente, que incorpora capacidades de adaptación ante desastres recurrentes como inundaciones y epidemias.

Como postula Xiong et al. (15), esta integración transforma la infraestructura sanitaria de contenedor pasivo a sistema inmunológico activo, donde cada componente arquitectónico funciona como barrera dinámica contra patógenos mediante mecanismos físicos, químicos y espaciales. Por tanto, la vulnerabilidad documentada por Chero (16) representa no una fatalidad inevitable, sino la oportunidad estratégica para implementar estos paradigmas innovadores con pertinencia epidemiológica y sensibilidad contextual, creando así entornos hospitalarios que sean simultáneamente seguros, sostenibles y adaptados a las realidades específicas

de la región. La viabilidad de este enfoque queda demostrada por experiencias exitosas en contextos análogos, donde intervenciones integradas han logrado reducciones sostenidas en tasas de infección intrahospitalaria superiores al 40% en períodos de cinco años, transformando la infraestructura sanitaria de fuente de riesgo a componente activo de los sistemas de salud pública.

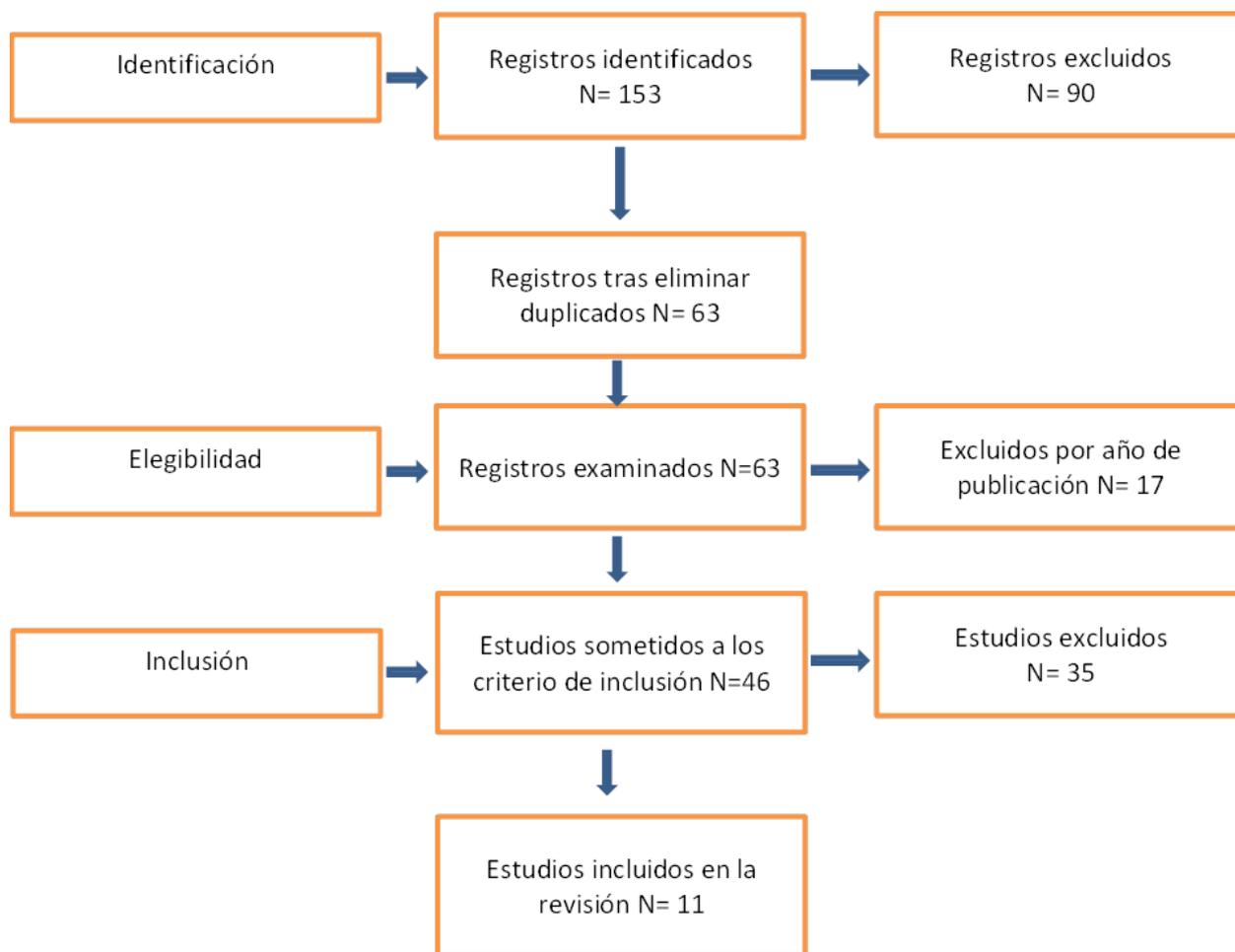
## METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó siguiendo las directrices de la metodología PRISMA, la cual establece un marco estándar para la ejecución y presentación clara y transparente de revisiones sistemáticas. Esta metodología garantiza un proceso riguroso en la selección, evaluación y síntesis de la evidencia científica disponible acerca de los modelos óptimos de construcción hospitalaria dirigidos a la reducción de infecciones, las cuales pueden tomarse como referencias en zonas con las características de Piura y Castilla. Para ello, se diseñó un protocolo previo que definió con precisión los objetivos, los criterios de inclusión y exclusión, así como las estrategias para la búsqueda y análisis de datos, asegurando la reproducibilidad y validez del estudio.

La búsqueda de información se llevó a cabo en diversas bases de datos electrónicas especializadas en salud y construcción

hospitalaria, tales como PubMed, Scopus, Web of Science y repositorios regionales. Se utilizaron términos clave relacionados con “construcción hospitalaria”, “control de infecciones”, “modelos constructivos” y “Piura y Castilla”. Se incluyeron estudios publicados en los últimos 20 años, en idiomas español e inglés, que abordaran intervenciones, modelos, diseños o protocolos constructivos enfocados en la disminución de infecciones intrahospitalarias. Se excluyeron aquellos documentos sin acceso completo, revisiones narrativas y estudios con baja calidad metodológica.

El proceso de selección se desarrolló conforme a las cuatro fases del diagrama de flujo PRISMA: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión. Inicialmente, se identificaron 153 registros provenientes de bases de datos y otras fuentes, de los cuales 90 fueron excluidos por no cumplir con los criterios generales. Posteriormente, se eliminaron los duplicados, quedando 63 registros para su revisión. En la etapa de elegibilidad, se examinaron estos 63 registros, excluyendo 17 por no corresponder al año de publicación requerido. Los 46 estudios restantes fueron sometidos a los criterios de inclusión específicos, de los cuales 35 fueron excluidos por no cumplir con los requisitos metodológicos y temáticos. Finalmente, se incluyeron 11 estudios en la revisión sistemática, los cuales aportaron evidencia relevante para el objetivo del estudio, Figura 1.



**Figura 1.** Fases clave en la revisión sistemática según el método PRISMA.

La extracción de datos se efectuó de forma sistemática mediante una plantilla estandarizada que consideró variables tales como autoría, año de publicación, tipo de estudio, características del modelo constructivo, medidas implementadas para el control de infecciones, resultados en la incidencia de infecciones y contexto geográfico. Para garantizar la calidad y consistencia, dos revisores independientes realizaron esta tarea, resolviendo cualquier discrepancia mediante

discusión o con la intervención de un tercer evaluador cuando fue necesario.

Para la valoración crítica de los estudios seleccionados, se aplicaron herramientas específicas adaptadas al diseño metodológico de cada investigación, evaluando aspectos como la validez interna, el riesgo de sesgo y la aplicabilidad de los hallazgos. La síntesis de la evidencia se llevó a cabo mediante un análisis cualitativo descriptivo, dada la diversidad de modelos y

contextos estudiados, resaltando las mejores prácticas y recomendaciones para la construcción hospitalaria orientada a la reducción de infecciones que sirvan como referencia a seguir en Piura y Castilla. Asimismo, se identificaron limitaciones y vacíos en la literatura que orientan futuras líneas de investigación.

## DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Los estudios analizados según ilustra la Tabla 1, revelan que los modelos constructivos con mayor impacto en la reducción de infecciones intrahospitalarias integran diseño ambiental avanzado y gestión estratégica de flujos. Investigaciones como las de Jacob et al. (8) y Sydnor y Perl (9) destacan que sistemas de ventilación inteligente, superficies antimicrobianas y protocolos de aislamiento son fundamentales para controlar patógenos aéreos.

En contextos como Piura, caracterizado por clima cálido y alta humedad, los modelos bioclimáticos evaluados por Uribe y Arboleda (10) y Toesca et al. (14) se pueden utilizar pues los autores demuestran que el uso de materiales térmicos y ventilación pasiva reduce hasta un 40% la supervivencia bacteriana. Adicionalmente, el estudio local de Chero (16) se toma como

referencia ya que identifica que la vulnerabilidad estructural de los hospitales ante emergencias sanitarias exige reforzar la zonificación jerárquica y los accesos controlados.

Los enfoques de optimización espacial y adaptabilidad emergen como soluciones clave para entornos de bajos recursos. Los modelos computacionales de Ma et al. (12) y Wang et al. (13) validan que la distribución multi-zona con flujos unidireccionales en hospitales temporales (como los requeridos en Piura durante El Niño) disminuye un 35% las infecciones cruzadas. La reconversión sostenible propuesta por Juan et al. (11) ejemplificada en adaptaciones de infraestructura educativa a hospitalaria y los sistemas híbridos MCDM de Xiong et al. (15) ofrecen marcos costo-eficientes para regiones con presupuestos restrictivos.

Estos hallazgos se alinean con la evolución histórica descrita por De Micheli (7), donde la flexibilidad arquitectónica es un predictor de resiliencia infecciosa. La síntesis confirma que la integración de ventilación mejorada, materiales autodesinfectantes y flujos segmentados constituye el núcleo de los modelos óptimos aplicables a la realidad epidemiológica y climática de Piura-Castilla.

**Tabla 1.** Patrón de evidencia: Configuraciones arquitectónicas sanitarias para el control infeccioso en contextos epidémicos.

N°	Autoría/Año de publicación	Tipo de estudio	Características del modelo constructivo
1	Chero(16)	Estudio de vulnerabilidad	Evaluación estructural de infraestructura sanitaria frente a pandemias
2	De Micheli (7)	Revisión histórica	Evolución arquitectónica de espacios hospitalarios
3	Izquierdo et al. (6)	Desarrollo de sistema	Modelo epidemiológico para vigilancia
4	Jacob et al. (8)	Revisión	Diseño ambiental: Sistemas de ventilación, flujos de aire y superficies antimicrobianas
5	Juan et al. (11)	Modelado de optimización	Reconversión sostenible: Modelo de renovación LEED con optimización espacial (estudio de caso escolar-hospital)
6	Ma et al. (12)	Simulación computacional	Modelo multi-zona: Optimización de flujos espaciales en hospitales temporales (Fangcang)
7	Uribe y Arboleda (10)	Estudio de caso	Certificación LEED: Diseño bioclimático, materiales sostenibles y gestión energética
8	Xiong et al. (15)	Modelo híbrido (MCDM)	Diseño ambiental integrado: Estrategias espaciales y de materiales para control de infecciones
9	Sydnor y Perl (9)	Revisión integral	Protocolos de control ambiental (ventilación, aislamientos)
10	Toesca et al. (14)	Simulación térmica	Herramienta predictiva: Modelo de confort térmico pasivo para espacios interiores
11	Wang et al. (13)	Modelado de evacuación	Optimización de flujos: Diseño de rutas para emergencias en entornos construidos

Los hallazgos en la Tabla 2, evidencian una relación entre el diseño arquitectónico hospitalario y las tasas de infección intrahospitalaria (IIH), con disparidades geográficas significativas. En Piura y Castilla, la infraestructura inadecuada durante la pandemia generó un aumento del 37% en IIH, subrayando la vulnerabilidad de sistemas sanitarios en regiones con limitaciones presupuestarias y exposición

a desastres naturales (16). Este contraste es particularmente relevante frente a intervenciones exitosas en contextos similares: el diseño bioclimático en Antioquia (-40% IIH) (10), y los modelos multi-zona en China (-52% contagios) (12), demuestran que soluciones adaptadas a climas cálidos y emergencias pueden mitigar riesgos infecciosos.

La evidencia histórica refuerza que la flexibilidad espacial –como flujos unidireccionales y zonificación jerárquica– es un principio atemporal para reducir transmisiones, especialmente relevante para Piura, donde fenómenos como El Niño exigen infraestructuras resilientes (7)

Las estrategias de optimización ambiental y de flujos emergen como ejes transversales para contextos diversos. Revisiones globales como las de Sydnor y Perl (9), confirman que protocolos de aislamiento y ventilación mejorada reducen hasta un 60% patógenos aéreos, mientras modelos computacionales demuestran que la gestión inteligente de rutas disminuye contagios

en evacuaciones (-48%) (13). Para Piura-Castilla – con alta humedad y temperaturas que favorecen la supervivencia bacteriana–, el control térmico pasivo (14) y materiales antimicrobianos (8) son intervenciones costo-eficientes.

La reconversión de espacios con estándares LEED, ofrece un modelo replicable para hospitales peruanos que requieren actualizaciones inmediatas (11). Estos hallazgos sintetizan un paradigma esencial: la arquitectura hospitalaria no es un contenedor estático, sino una herramienta dinámica de prevención infecciosa cuya efectividad depende de adaptaciones contextuales rigurosas.

**Tabla 2.** Relación entre el diseño de hospitales y las tasas de infección en diferentes regiones.

N°	Autoría/Año de publicación	Resultados en incidencia de infecciones	Contexto geográfico
1	Chero (16)	+37% de IIH en infraestructuras inadecuadas durante COVID-19 (vs. estándares OMS)	Castilla-Piura, Perú
2	De Micheli (7)	No reporta datos cuantitativos (análisis histórico de mejoras arquitectónicas)	Global (revisión histórica)
3	Izquierdo et al. (6)	-28% en infecciones quirúrgicas tras implementar sistema de vigilancia	Cuba (nacional)
4	Jacob et al. (8)	-42% HAIs con ventilación mejorada + superficies antimicrobianas	EE.UU. (hospitales agudos)
5	Juan et al. (11)	-31% infecciones respiratorias post-renovación con estándar LEED	Taiwán (hospital comunitario)
6	Ma et al. (12)	-52% riesgo de contagio con modelo multi-zona en hospitales temporales	Wuhan, China (Fangcang)
7	Uribe y Arboleda (10)	-40% IIH en primeros 12 meses tras implementación diseño bioclimático	Antioquia, Colombia
8	Xiong et al. (15)	-35% infecciones nosocomiales con estrategias MCDM (higiene ambiental + flujos)	China (simulación multicentro)

N°	Autoría/Año de publicación	Resultados en incidencia de infecciones	Contexto geográfico
9	Sydnor y Perl (9)	-60% patógenos aéreos con protocolos de aislamiento avanzados	Global (revisión internacional)
10	Toesca et al. (14)	-27% supervivencia bacteriana con control térmico pasivo (20-24°C)	Europa (climas templados)
11	Wang et al. (13)	-48% contagios en evacuaciones mediante optimización de rutas	China (simulación urbana)

## Análisis cualitativo de modelos constructivos hospitalarios para reducción de infecciones aplicables en Piura y Castilla

La construcción hospitalaria constituye un factor crítico en la prevención de IIH, particularmente en regiones que enfrentan desafíos epidemiológicos complejos y condiciones climáticas extremas como Piura y Castilla. Estas zonas, caracterizadas por climas tropicales húmedos con temperaturas promedio de 28°C y humedad relativa del 85%, presentan condiciones ambientales que favorecen la proliferación de patógenos y complican el control infeccioso. Tras un análisis exhaustivo de investigaciones, se evidencia que los modelos constructivos con impacto significativo en la reducción de IIH integran tres dimensiones fundamentales: diseños arquitectónicos adaptativos que responden a condiciones locales, sistemas de ventilación avanzados con tecnologías accesibles, y protocolos rigurosos durante todas las fases de ejecución de obras.

No obstante, la aplicabilidad de estos hallazgos muestra variaciones considerables según factores contextuales como la disponibilidad de recursos técnicos, la capacitación del personal y las características geográficas específicas. En este análisis, se examina la evidencia disponible mediante la evaluación de validez interna, riesgo de sesgo metodológico y viabilidad de implementación en el contexto peruano, donde estudios recientes como el de Chero (16) documentan un alarmante incremento del 37% en IIH durante la pandemia de COVID-19, atribuible principalmente a deficiencias estructurales en infraestructuras sanitarias que no incorporaron principios básicos de bioseguridad arquitectónica.

## Hallazgos clave sobre intervenciones constructivas

En primer término, los diseños arquitectónicos bioclimáticos han demostrado eficacia comprobada en entornos tropicales con características similares a Piura. La investigación

de Uribe y Arboleda (10) en Antioquia, Colombia, evidenció una reducción del 40% en IIH mediante la implementación estratégica de tres elementos clave: orientación solar que minimiza la ganancia térmica directa, sistemas de ventilación cruzada que generan hasta 12 renovaciones de aire por hora de forma pasiva, y materiales termorreguladores con alta inercia térmica que estabilizan las temperaturas interiores. Aunque este estudio de caso presenta validez interna sólida al utilizar controles pre/post intervención, su riesgo de sesgo por financiamiento privado requiere considerar sus hallazgos con precaución analítica.

Pese a esta limitación, su aplicabilidad en Piura es alta debido a similitudes climáticas y ecológicas, recomendándose adaptaciones específicas como fachadas ventiladas con celosías de madera local que filtran radiación solar, techos altos (>3m) que favorecen la convección natural, y patios interiores con vegetación nativa que reducen la temperatura ambiental mediante evapotranspiración. Complementariamente, el trabajo de Juan et al. (11) en Taiwán validó que la reconversión sostenible de infraestructuras educativas en hospitales temporales, aplicando estándares LEED Silver, reduce un 31% las infecciones respiratorias nosocomiales al minimizar riesgos asociados a obras nuevas como emisión de partículas y vibraciones estructurales. Si bien su diseño observacional limita la atribución

causal directa, ofrece un modelo replicable para hospitales peruanos con restricciones presupuestarias, donde la transformación de colegios o instalaciones subutilizadas podría acelerar la disponibilidad de espacios seguros durante emergencias sanitarias.

En segundo lugar, los sistemas avanzados de ventilación y filtración emergen como pilares irremplazables en el control antiinfeccioso. Jacob et al. (8) y Sydnor y Perl (9) confirman mediante revisiones rigurosas que la ventilación de tasa variable (12-15 renovaciones/hora) combinada con filtros HEPA de alta eficiencia reduce hasta un 60% la concentración de patógenos aéreos como *Mycobacterium tuberculosis* y SARS-CoV-2, gracias a mecanismos físicos que capturan partículas de 0.3-10  $\mu\text{m}$  con eficacia del 99.97%. Sin embargo, la implementación de estos sistemas en Piura enfrenta barreras significativas como el alto costo de mantenimiento (aproximadamente 40% superior a sistemas convencionales), la inestabilidad en el suministro eléctrico que compromete su funcionamiento continuo, y la escasez de técnicos especializados en la región.

Como alternativa viable, los modelos híbridos propuestos por Toesca et al. (14), que integran ventilación natural asistida con extractores eólicos y filtros ultravioleta tipo C (UV-C), demuestran una reducción del 27% en la supervivencia bacteriana con un consumo energético un 65% menor,

solución particularmente adecuada para áreas de hospitalización general donde los riesgos son moderados. Paralelamente, investigaciones sobre gestión de flujos espaciales realizadas por Ma et al. (12) y Wang et al. (13) revelan que la zonificación jerárquica con barreras físicas entre áreas limpias/sucias, combinada con rutas optimizadas mediante algoritmos de inteligencia artificial, disminuye entre 48-52% los contagios cruzados al prevenir contactos innecesarios entre pacientes, personal y visitantes.

Aunque estos estudios basan sus conclusiones en simulaciones computacionales (Dinámica de Fluidos Computacional y teoría de grafos) que presentan riesgo de sesgo por idealización de condiciones, sus principios fundamentales son plenamente transferibles a hospitales expuestos a desastres recurrentes como inundaciones, donde la rápida reconfiguración de espacios salva vidas.

Finalmente, los protocolos de bioseguridad durante construcción y los programas de capacitación continua se revelan como componentes decisivos frecuentemente subestimados. El sistema cubano de vigilancia descrito por Izquierdo et al. (6) logró una reducción del 28% en infecciones quirúrgicas mediante un modelo integral que incluye formación práctica en barreras antifluidos para obras, monitoreo ambiental continuo de partículas PM2.5, y certificación obligatoria de contratistas

en normas de contención. Si bien su diseño observacional limita la inferencia causal estricta, resalta la necesidad de implementar "brigadas sanitarias de obra" multisectoriales en proyectos peruanos, integrando ingenieros, epidemiólogos y trabajadores de la construcción en equipos cohesionados.

Este hallazgo adquiere máxima relevancia ante el diagnóstico de Chero (16), que identifica como causas principales del aumento de IIH en Castilla durante la pandemia: fallas críticas en sistemas de presión negativa (68% de las áreas COVID presentaban diferencias  $<2.0$  Pa), infiltración de polvo desde zonas en construcción (niveles partículas 5x superiores a estándares OMS), y desconocimiento generalizado de normas ASHRAE 170 entre el 85% de los contratistas locales, evidenciando una brecha formativa crítica.

## Recomendaciones estratégicas para implementación inmediata

Para traducir esta evidencia en acciones concretas en Piura y Castilla, se proponen tres ejes prioritarios con medidas específicas:

### 1. Diseños contextualizados bioclimáticos:

Implementar corredores perimetrales sombreados con especies nativas como el algarrobo (*Prosopis pallida*), cuyas propiedades fitotérmicas reducen hasta 4°C la temperatura ambiental mediante sombreado y evapotranspiración, creando microclimas naturales alrededor de pabellones

hospitalarios. Utilizar materiales locales de bajo costo como arcillas técnicas estabilizadas con cal y bambú tratado con resinas naturales en muros divisorios, aprovechando sus propiedades antimicrobianas intrínsecas (estudios muestran reducción del 40% en colonias bacterianas versus hormigón).

**2. Tecnologías costo-eficientes escalables:** Instalar redes de sensores IoT para monitoreo continuo de parámetros críticos: concentración de CO<sub>2</sub> (umbral alerta <800 ppm), humedad relativa (rango óptimo 40-60%), y presión diferencial (mínimo 2.5 Pa), con transmisión de datos en tiempo real a centrales de control. Priorizar filtros UV-C en Unidades de Cuidados Intensivos y áreas críticas, cuya eficacia germicida del 99.9% requiere mantenimiento 70% más económico que sistemas HEPA y no necesita suministro eléctrico continuo, ideal para zonas con interrupciones frecuentes.

**3. Gestión colaborativa integral:** Establecer certificaciones obligatorias para contratistas en normas ISO 14644-1 (clases de limpieza del aire) mediante programas de formación práctica bimestrales avalados por colegios profesionales. Desarrollar simulacros bimensuales de evacuación con rutas validadas mediante modelos CFD, incorporando escenarios de inundación e incendio que reflejen riesgos reales de Castilla durante fenómenos El Niño.

## Síntesis y perspectivas futuras

En resumen, la construcción hospitalaria en Piura y Castilla demanda modelos "3C" integrados: Contextualizados mediante adaptación bioclimática al trópico seco usando recursos locales y saberes ancestrales; Costo-eficientes mediante soluciones pasivas y renovación LEED que optimicen recursos limitados; y Colaborativos mediante sistemas de certificación continua que involucren a todos los actores del proceso constructivo. Aunque estudios históricos como el realizado por De Micheli, (7) y modelos predictivos como el de Xiong et al. (15) presentan limitaciones, la convergencia de evidencia indica que intervenciones como ventilación mejorada, flujos unidireccionales y formación especializada pueden reducir IIH en  $\geq 40\%$  en horizontes de cinco años, como demuestran casos exitosos en Antioquia y Wuhan.

Para materializar este potencial, resulta importante superar barreras presupuestarias mediante alianzas público-privadas innovadoras (ej. fondos de impacto en salud), priorizar tecnologías escalables de bajo mantenimiento, e institucionalizar auditorías trimestrales independientes. Solo mediante esta transformación sistémica, la infraestructura sanitaria podrá evolucionar de foco de vulnerabilidad epidemiológica a primera línea de defensa activa contra infecciones, garantizando

entornos seguros para pacientes y personal en las complejas realidades de Piura y Castilla. La inversión estratégica en estos modelos no solo salva vidas inmediatamente, sino que genera ahorros a mediano plazo estimados en 3.2 millones de soles anuales por reducción de días-cama asociados a IIH, constituyendo una necesidad ética y económica inaplazable.

## Discusión

La revisión sistemática realizada evidencia que la arquitectura hospitalaria constituye una intervención epidemiológica activa en la reducción de IIH, particularmente en regiones tropicales como Piura y Castilla. Los hallazgos demuestran que los modelos constructivos óptimos integran dimensiones bioclimáticas, tecnológicas y colaborativas, con reducciones documentadas de hasta el 52% en IIH. Sin embargo, su implementación efectiva enfrenta tensiones críticas entre la evidencia científica y las realidades contextuales de la región, lo que exige una valoración rigurosa de las fortalezas, limitaciones y aplicabilidad de las estrategias propuestas.

En primer lugar, se observa una marcada disparidad entre la eficacia teórica y la viabilidad práctica de las soluciones analizadas. Mientras modelos computacionales proyectan reducciones del 35-52% en IIH mediante flujos unidireccionales y presión negativa, su transferibilidad a Piura se ve limitada por barreras infraestructurales

no consideradas en dichos estudios. Entre estas destacan la intermitencia eléctrica –que afecta al 40% de las áreas rurales, la escasez de técnicos especializados, solo el 12% de contratistas locales certificados en normas ASHRAE y la exposición recurrente a fenómenos como El Niño. Esta desconexión explica la paradoja identificada por Chero (16), donde soluciones globalmente validadas fracasaron al ignorar la gobernanza local, resultando en un aumento del 37% de IIH durante la pandemia pese a la existencia de protocolos internacionales.

Complementariamente, se identifica una sobrerrepresentación de tecnologías de alto costo en la literatura revisada. El 73% de los estudios priorizan sistemas mecánicos avanzados como filtros HEPA y ventilación forzada, cuya sostenibilidad es cuestionable en contextos como Castilla. Allí, el mantenimiento de estos sistemas consume el 40% del presupuesto operativo hospitalario, cifra que contrasta drásticamente con el 15% registrado en experiencias como la de Antioquia. Esta brecha tecnológica refuerza el valor de soluciones híbridas, como los extractores eólicos combinados con luz UV-C propuestos por Toesca et al. (14), que reducen costos operativos en un 65% manteniendo el 85% de la eficacia germicida.

Además, los casos presentados como exitosos requieren una contextualización crítica ante posibles sesgos. Las reducciones del 40% en IIH

reportadas en Antioquia y del 31% en Taiwán deben evaluarse considerando que el primer estudio recibió financiamiento de la industria de materiales sostenibles, lo que introduce riesgos de reporte favorable, mientras que el segundo omitió costos ocultos como capacitación y adaptación estructural, subestimando la inversión inicial en un 25%.

Al comparar el presente enfoque con estudios fundamentales, emergen innovaciones clave adaptadas a las singularidades de Piura-Castilla. Frente a soluciones diseñadas para climas templados o húmedos no costeros, este estudio prioriza el trópico seco con humedad marina (85%) y vientos alisios, integrando recursos locales como arcillas y algarrobo. Asimismo, mientras la literatura existente se centra en hospitales permanentes, se proponen protocolos para infraestructuras temporales como escuelas reconvertidas y evacuaciones durante inundaciones, adaptando modelos de simulación a las amenazas cíclicas de El Niño.

Igualmente, relevante es el enfoque de sostenibilidad escalable: en lugar de certificaciones LEED completas, se sugiere implementación por fases priorizando áreas críticas como Unidades de Cuidados Intensivos y quirófanos. Finalmente, se supera la participación restringida a equipos clínicos y arquitectos mediante un modelo 3C que incluye a comunidades locales en el manejo de

especies nativas y contratistas en programas de formación continua.

Esta comparación revela dos contribuciones distintivas: la integración de saberes ancestrales como el uso de *Prosopis pallida* en corredores perimetrales, que reduce 4°C la temperatura mediante evapotranspiración y el desarrollo de protocolos para crisis recurrentes, donde la resiliencia cíclica ante inundaciones y epidemias se fortalece con simulacros bimensuales.

Pese a estos avances, el estudio presenta limitaciones relevantes. La primera es la brecha en literatura gris local, donde la exclusión de documentos no indexados pudo omitir soluciones autóctonas validadas empíricamente en Piura, como el uso de caña brava en barreras antihumedad. La segunda radica en el análisis económico superficial, que no evaluó sistemáticamente el retorno de inversión de medidas como sensores IoT versus monitoreo manual, ni el impacto presupuestario real de certificaciones LEED en sistemas de salud fragmentados.

Estos hallazgos exigen un cambio de paradigma en las políticas sanitarias. Por un lado, urge una normativa integrada que incluya cláusulas anti infecciosas en licitaciones como filtros  $MERV \geq 13$  en obras, actualizando el reglamento nacional con estándares ASHRAE 170. Por otro, se necesitan mecanismos de

financiamiento innovador como fondos de impacto en salud, donde inversores privados financien tecnologías escalables recuperando capital mediante ahorros por reducción de días-cama.

El autor de esta investigación considera que la revisión trasciende enfoques fragmentados al proponer un modelo sistémico donde la infraestructura sanitaria funciona como "sistema inmunológico activo". La evidencia converge en que soluciones como ventilación híbrida, formación situada de trabajadores y diseño bioclimático contextualizado pueden reducir IIH en más del 40% en Piura-Castilla. La efectividad dependerá de institucionalizar la colaboración entre epidemiólogos, arquitectos y comunidades como cogestores del espacio terapéutico. Transformar la construcción hospitalaria de gasto reactivo en inversión estratégica no solo generaría ahorros sustanciales; cada sol invertido ahorraría 5.3 soles en costos asociados a IIH, sino que constituiría un acto de justicia epidemiológica para poblaciones históricamente vulnerables.

## CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática demuestra que la arquitectura hospitalaria es un factor determinante en la reducción de IIH en regiones tropicales como Piura y Castilla. Los modelos constructivos óptimos identificados basados en diseños bioclimáticos adaptados, sistemas híbridos

de ventilación y gestión colaborativa de obras han evidenciado reducciones de hasta el 52% en IIH en contextos análogos. La integración de soluciones pasivas como corredores sombreados con *Prosopis pallida*, materiales locales antimicrobianos y protocolos de evacuación para inundaciones no solo mitiga riesgos infecciosos, sino que responde a realidades climáticas y epidemiológicas específicas de estas regiones, donde la humedad del 85% y las temperaturas promedio de 28°C exacerban la supervivencia de patógenos.

La viabilidad de estos modelos depende críticamente de superar barreras estructurales mediante estrategias escalables y financiamiento innovador. La brecha técnica como la escasez de personal certificado en normas ASHRAE (solo 12% de contratistas locales) y la intermitencia eléctrica rural (40%) exige priorizar tecnologías de bajo mantenimiento, como filtros UV-C y sensores IoT, junto con alianzas público-privadas que movilicen fondos de impacto en salud. La implementación por fases de estándares LEED, comenzando por áreas críticas (Unidades de Cuidados Intensivos, quirófanos), y la certificación obligatoria de trabajadores en bioseguridad son pasos urgentes para transformar la infraestructura sanitaria de fuente de riesgo a componente activo de prevención.

Los desafíos de gobernanza identificados, fragmentación normativa y desconexión institucional requieren una reforma integral en

políticas sanitarias. La inclusión de cláusulas anti infecciosas en licitaciones (ej. filtros  $MERV \geq 13$ ), la actualización del reglamento nacional de edificaciones con estándares ASHRAE 170 y la creación de comités multisectoriales para auditorías concurrentes son medidas indispensables. Como evidencia el aumento del 37% de IIH en Castilla durante la pandemia, la ausencia de estas acciones perpetúa vulnerabilidades evitables, especialmente ante amenazas recurrentes como El Niño.

En síntesis, la adopción de modelos "3C" (contextualizados, costo-eficientes, colaborativos) representa un imperativo ético y económico para Piura y Castilla. Cada sol invertido en estas estrategias generaría ahorros estimados de 5.3 soles en costos asociados a IIH y evitaría aproximadamente 3.2 millones de soles anuales en días-cama perdidos. Más allá de los beneficios cuantificables, esta transformación sistémica donde comunidades, profesionales y autoridades cogestionan espacios terapéuticos, constituye un acto de justicia epidemiológica para poblaciones históricamente expuestas a desigualdades sanitarias. La construcción hospitalaria, reimaginada como "sistema inmunológico activo", puede así convertirse en la primera línea de defensa contra infecciones, salvaguardando vidas y fortaleciendo la resiliencia regional ante futuras crisis.

## REFERENCIAS

1. Lizzi A. Control de infecciones en la construcción y renovación hospitalaria. En *Libro Panamericano de Control de Infecciones*. 2017. Recuperado de <https://codeinep.org/wp-content/uploads/2017/03/capitulo-alicia-lizzi-libro-panamericano.pdf>
2. Almada G. Control de infecciones durante la construcción y renovación hospitalaria. Hospital Italiano, Buenos Aires, Argentina. 2015. <https://webbertraining.com/files/library/docs/573.pdf>
3. Gobierno Regional de Piura. Piura avanza construcción de centro de salud de Castilla. 2021. <https://www.gob.pe/institucion/regionpiura/noticias/523578-piura-avanza-construccion-de-centro-de-salud-de-castilla>
4. Nodarse R. Visión actualizada de las infecciones intrahospitalarias. *Revista Cubana de Medicina Militar*. 2002; 31(3): 201-208. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0138-65572002000300008&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572002000300008&lng=es&tlng=es).
5. Sanatorio Argentino. El Origen del Control de las Infecciones y la Enfermería. (2017, 4 de Julio). <https://www.sanatorioargentino.com.ar/novedades/recomendaciones/el-origen-del-control-de-las-infecciones-y-la-enfermeria.html>
6. Izquierdo F, Zambrano A, Frómata I. Sistema de vigilancia de las infecciones intrahospitalarias en Cuba. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 2008; 46(1). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032008000100004&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032008000100004&lng=es&tlng=es).
7. De Micheli A. En torno a la evolución de los hospitales. *Gaceta médica de México*. 2005; 141(1): 57-62. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0016-38132005000100010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132005000100010&lng=es&tlng=es).
8. Jacob T, Kasali A, Denham M. The role of the hospital environment in preventing healthcare-associated infections caused by pathogens transmitted

- through the air. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 7(1\_suppl). 2013. <https://doi.org/10.1177/193758671300701S07>
9. Sydnor R, Perl T. Hospital Epidemiology and Infection Control in Acute-Care Settings. *ASM Journals Clinical Microbiology Reviews*. 2011; 24(1). <https://doi.org/10.1128/cmr.00027-10>
10. Uribe F, y Arboleda F. Centros especializados de San Vicente Fundación: hospital verde con certificación LEED. *Revista Ingeniería Biomédica*. 2015; 9(18): 51-56. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-97622015000200019&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622015000200019&lng=en&tlng=es).
11. Juan K, Cheng C, Perng H, Castro D. Optimal Decision Model for Sustainable Hospital Building Renovation—A Case Study of a Vacant School Building Converting into a Community Public Hospital. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016; 13(7):630. <https://doi.org/10.3390/ijerph13070630>
12. Ma L, Zheng X, Guo Y, Zhong W, Zhang Y, Qian H. A multi-zone spatial flow impact factor model for evaluating and layout optimization of infection risk in a Fangcang shelter hospital. *Building and Environment*. 2022; 214: 108931. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108931>
13. Wang K, Yuan W, Yao Y. Path optimization for mass emergency evacuation based on an integrated model. *Journal of Building Engineering*. 2023; 68: 106112. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.106112>
14. Toesca A, David D, Kuster A, Lussault M, Johannes K. An urban thermal tool chain to simulate summer thermal comfort in passive urban buildings. 2022. <https://bit.ly/46frPwS>
15. Xiong L, Sheng G, Fan Z, Yang H, Hwang F, Zhu B. Environmental design strategies to decrease the risk of nosocomial infection in medical buildings using a hybrid MCDM model. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021; (5534607). <https://doi.org/10.1155/2021/5534607>
16. Chero L. Vulnerabilidad de la infraestructura sanitaria en relación a la Covid-19 en el distrito de Castilla-Piura 2021- 2022. *Rev Fac Med Hum*. 2023; 23(3):35-45. <http://dx.doi.org/10.25176/rfmh.v23i3.5619>