

# Fachadas Cinéticas: Una exploración inicial de su potencial sostenible para el confort térmico solar

**NADIA PÉREZ LICERA<sup>1</sup>**

Universidad Ricardo Palma / noemy.perez@urp.edu.pe / DOI: 0009-0004-7940-344X

**RESUMEN:** Este artículo presenta una investigación sobre las fachadas cinéticas, explorando su evolución histórica y ofreciendo una clasificación que facilita la comprensión de sus tipos y movimientos. El estudio se centra en Chorrillos, Lima, donde la alta radiación UV plantea un desafío significativo para el confort térmico y la habitabilidad. La investigación integra análisis climáticos, técnicas de teselación geométrica y modelado paramétrico para desarrollar un sistema arquitectónico adaptativo que responda a las condiciones ambientales. El diseño propuesto se basa en una estructura de triangulaciones articuladas, capaz de regular la luz y la sombra, lo que optimiza la eficiencia energética y disminuye la dependencia de sistemas artificiales de climatización. Además, se incorporan elementos sostenibles, como espacios verdes y áreas recreativas, que contribuyen al bienestar de los usuarios. Los resultados indican que la fachada cinética no solo mejora el confort térmico y reduce el impacto ambiental, sino que también posiciona al edificio como un referente arquitectónico en Chorrillos. Esta propuesta se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo el bienestar, el acceso a energía asequible y el desarrollo de ciudades sostenibles. En conclusión, se destaca el potencial de las fachadas cinéticas como soluciones innovadoras para enfrentar los desafíos climáticos en entornos urbanos contemporáneos.

**PALABRAS CLAVE:** Fachadas cinéticas; diseño arquitectónico adaptativo; sostenibilidad; radiación solar. **Kinetic**

## Kinetic Facades: An initial exploration of their sustainable potential for solar thermal comfort

**FACA DES:** An initial exploration of their sustainable potential for solar thermal comfort. This article presents an investigation of kinetic facades, exploring their historical evolution and offering a classification that facilitates the understanding of their types and movements. The study focuses on Chorrillos, Lima, where high UV radiation poses a significant challenge to thermal comfort and habitability. The research integrates climate analysis, geometric tessellation techniques and parametric modeling to develop an adaptive architectural system that responds to environmental conditions. The proposed design is based on a structure of articulated triangulations, capable of regulating light and shade, which optimizes energy efficiency and reduces dependence on artificial air conditioning systems. In addition, sustainable elements, such as green spaces and recreational areas, are incorporated to contribute to the well-being of the users. The results indicate that the kinetic façade not only improves thermal comfort and reduces environmental impact, but also positions the building as an architectural reference in Chorrillos. This proposal aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), promoting wellbeing, access to affordable energy and the development of sustainable cities. In conclusion, it highlights the potential of kinetic facades as innovative solutions to address climate challenges in contemporary urban environments.

**KEYWORDS:** Kinetic facades; adaptive architectural design; sustainability; solar radiation.

## Introducción

Las fachadas son un elemento esencial de la arquitectura, no solo desde una perspectiva estética, sino también funcional y simbólica. Constituyen la primera impresión de un edificio, influyendo en cómo este es percibido por los observadores. Además, desempeñan un papel vital en la protección del patrimonio cultural y arquitectónico, reflejando la identidad y el legado de las civilizaciones a lo largo de la historia. Desde un enfoque técnico, las fachadas protegen las edificaciones frente a factores climáticos como la radiación solar, el viento y la lluvia, y proporcionan aislamiento térmico y acústico, mejorando el confort interior (Dorozhkina et al., 2021). En la actualidad, las fachadas modernas no solo deben satisfacer criterios estéticos y funcionales, sino también responder a demandas de sostenibilidad, eficiencia energética y confort térmico (Nalcaci & Nalcaci, 2020).

Históricamente, las fachadas han evolucionado en respuesta a los contextos culturales, climáticos y tecnológicos de cada época. En el antiguo Egipto, los templos orientados hacia el este evidenciaban un diseño que integraba estética y funcionalidad, utilizando la orientación solar como recurso clave (Rossi, 2020). Por su parte, la arquitectura romana destacó por la incorporación de elementos decorativos y funcionales que aprovechaban los materiales y tecnologías locales para crear estructuras robustas y visualmente impactantes (Yegül & Favro, 2019). A lo largo de los siglos, las fachadas han sido un medio de expresión de poder y belleza, mientras que su funcionalidad se ha adaptado a las innovaciones tecnológicas y las preocupaciones ambientales de cada periodo.

En tiempos recientes, la arquitectura enfrenta nuevos retos relacionados con la sostenibilidad y el impacto ambiental. Soluciones innovadoras como las fachadas cinéticas han surgido para abordar estos desafíos. Estas estructuras dinámicas responden a factores climáticos como el ángulo solar, ajustando su configuración para optimizar el consumo energético y proteger contra la radiación solar directa. Este enfoque es especialmente relevante en contextos urbanos con alta radiación solar, donde las soluciones tradicionales son insuficientes (Seyrek Şık et al., 2022; Greiner et al., 2022). La clasificación de los sistemas de fachadas cinéticas incluye tecnologías electromecánicas, materiales inteligentes y sistemas pasivos, permitiendo una respuesta adaptable a las condiciones ambientales (Ramzy & Fayed, 2011; Matin et al., 2017).



FIGURA 1. Mapamundi, localización y características del medio geográficas (Fuente: Elaboración propia)

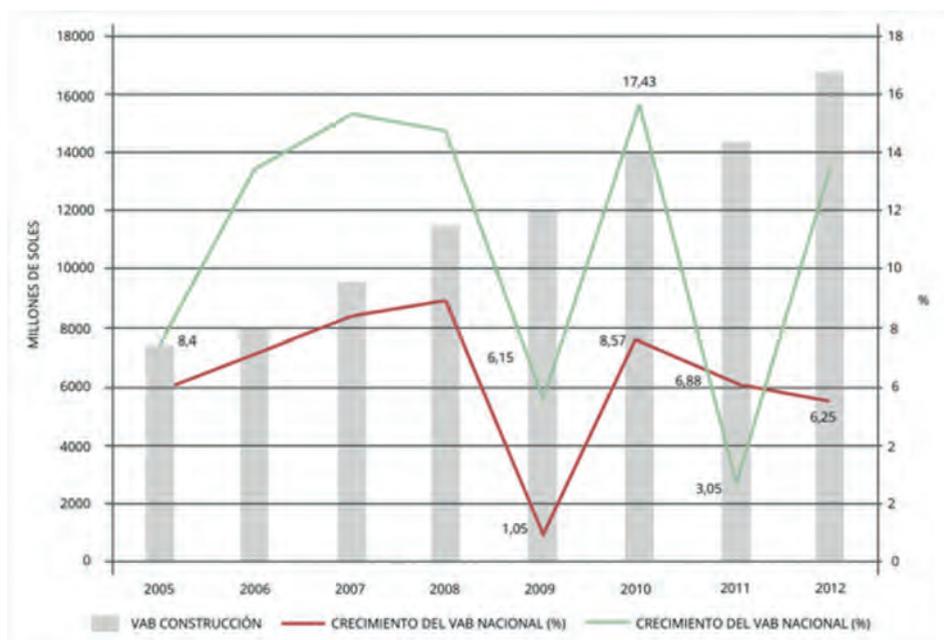


FIGURA 2. Valor agregado bruto total del sector construcción 2005-2012. Porcentaje de crecimiento y millones de nuevos soles a precios constantes de 1994 (Lozano Álvarez, A., y Vidalón Quiroga, S., 2018).

En el contexto peruano, la construcción refleja una compleja interacción entre la dinámica económica y el crecimiento informal, siendo este sector uno de los principales motores de la economía nacional, con un crecimiento promedio del 7.7% en los últimos 15 años, impulsado por programas gubernamentales de vivienda y autoconstrucción (Silva et al., 2017). En este marco, las fachadas adquieren un papel crucial al combinar funcionalidad y estética: no solo protegen el interior del edificio frente a las condiciones externas, sino que también definen su identidad visual. Además, las fachadas sostenibles destacan por minimizar el consumo energético, contribuyendo a la creación de ambientes interiores confortables que fomentan tanto la calidad de vida como la productividad de los ocupantes (Aksamija, 2013)

Las fachadas cumplen dos funciones: proteger el interior del exterior y servir como imagen del edificio. Las fachadas sostenibles minimizan el consumo energético, promoviendo un ambiente interior confortable que favorece la vida y productividad de los ocupantes. (Aksamija, 2013)

Existen diversas formas de clasificación, por lo que en esta investigación se llevará a cabo una categorización que sintetice la información más relevante de cada tipo. Se propone una nueva clasificación que se divide en tres tipos diferentes: sistemas basados en actuadores, sistemas basados en materiales inteligentes (SMB) y sistemas pasivos (ver Figura 3). Los sistemas basados en actuadores se subdividen en función del tipo de movimiento que presentan en las fachadas, incluyendo movimiento radial, movimiento de traslación y movimiento de rotación. Por otro lado, los sistemas cinéticos SMB para fachadas se agrupan en la segunda categoría. Además, un sistema cinético que se activa por el entorno natural se clasifica dentro de los sistemas pasivos. Asimismo, se incorpora una columna con información fundamental que incluye: nombre, ubicación, detalles, tecnología implementada, sistema de control tecnológico y material de fachada. Esta organización permite un mejor conocimiento y comprensión de los proyectos analizados.

La tecnología implementada analizada se divide en: Tecnología electromecánica, tecnología de materiales y tecnología pasiva. La tecnología electromecánica son dispositivos que convierten la energía en movimiento, para permitir el movimiento en las fachadas de los edificios. Aunque el modelo digital puede controlar los actuadores del modelo físico en tiempo real, los dos modelos no pueden corresponderse entre sí, debido a condiciones físicas que incluyen las propiedades de los materiales y el entorno circundante.

Los edificios enfrentan un nuevo desafío que consiste en ir más allá del diseño arquitectónico espacial convencional y estático, tal como se plantea en el concepto

de arquitectura (Pan & Jeng, 2008). Las fachadas cinéticas modifican su función y forma en base a las necesidades del usuario y de las condiciones ambientales. (Moloney, 2011).

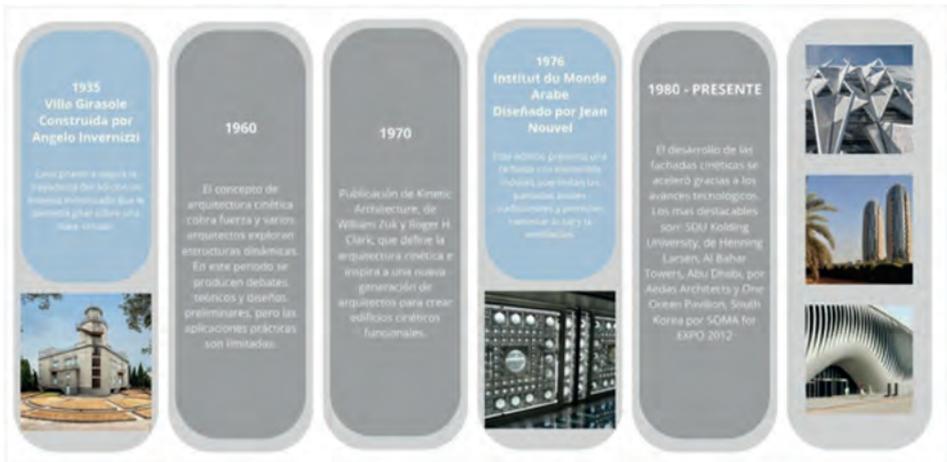
EJEMPLOS	SISTEMA BASADO EN ACTUADORES			SISTEMA BASADO EN MATERIALES INTELIGENTES	SISTEMAS PASIVOS
	MOVIMIENTO RADIAL/ESCALAR	MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN	MOVIMIENTO DE ROTACIÓN		
NOMBRE					
UBICACIÓN	Paris, France	Abu Dhabi UAE	Melbourne, Australia	Un prototipo	Pittsburgh, Pennsylvania
DETALLE					
TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA	Electromecánica Tecnología	Electromecánica Tecnología	Electromecánica Tecnología	Electromecánica Tecnología	Tecnología pasiva
SISTEMA DE CONTROL TECNOLÓGICA	Control central (CBM)	Control centralizado individualmente	Control centralizado Programado en función el tiempo (BMS)	Control basado en materiales	No control
MATERIAL DE FACHADA	Vidrio Acero	Cromo níquel molibde-no-Acero inoxidable	Vidrio arenado Aluminio Acero	Electroactivo Polímero recubierta de plata	Policarbonato
NOMBRE					
UBICACIÓN	Montreal, Canadá	Bad Gleichenberg Austria	Yeosu, South Korea	Los Angeles, California	Singapore, Republic of Singapore
DETALLE					
TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA	Electromecánica electromecánica	Electromecánica electromecánica	Electromecánica electromecánica	Tecnología de materiales	Tecnología pasiva
SISTEMA DE CONTROL TECNOLÓGICA	Control central	Control centralizado individualmente	Control centralizado individualmente	Control basado en materiales	No control
MATERIAL DE FACHADA	Paneles acrílicos	Aluminio	Polímero reforzado con fibra de vidrio Polímero	Biometales térmicos	Aluminio

FIGURA 3. Sistemas cinéticos de fachadas basados en el movimiento. Fuente: Elaboración propia.

Nota. La clasificación presentada en la tabla sobre sistemas cinéticos de fachadas en movimiento se basa en la tesis de Mümin Bayar (Design and computational optimization of a kinetic facade, 2020), desarrollada en la Yaşar University Graduate School. Asimismo, los tres criterios finales incluidos en la tabla —tecnología implementada, sistema de control tecnológico y material de la fachada— fueron adaptados del trabajo de investigación realizado por Heidari Matin, N., Eydgahi, A., y Shyu, S. (Comparative analysis of technologies used in responsive building facades, 2017), presentado en el ASEE Annual Conference & Exposition en Columbus, Ohio.

Los orígenes de la arquitectura cinética se remontan a la Edad Media, cuando estructuras como los puentes levadizos mostraron las primeras manifestaciones de movimiento en la arquitectura. A principios del siglo XX, los arquitectos comenzaron a investigar más a fondo este concepto. Proyectos teóricos destacados, como el edificio rotatorio propuesto por Thomas Gaynor en 1908, que nunca se construyó, y la Villa Girasole de Angelo Invernizzi, finalizada en 1935, establecieron las bases para futuros desarrollos en el ámbito de la arquitectura cinética. Comprender estos conceptos fundamentales permite apreciar la complejidad e innovación que caracterizan los diseños cinéticos.

El crecimiento de las fachadas cinéticas ha estado intrínsecamente relacionado con los avances tecnológicos, especialmente en informática y materiales de construcción durante las décadas de 1960 y 1970. Estos avances han permitido la creación de estructuras que no sólo son estéticamente atractivas, sino que también responden dinámicamente a las condiciones ambientales, mejorando así la eficiencia energética y el confort interior.



Cinética. Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 4.** Línea del tiempo de los hitos clave en el desarrollo de la Fachada Nota. Fuente: Villa Girasole de Hidden Architecture (<https://hiddenarchitecture.net/villa-girasole/>). Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas de Archdaily (<https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas>). SDU Kolding University de Jens Lindhe (<https://www.dezeen.com/2015/07/14/henning-larsen-syddansk-universitet-sdu-kolding-campus-building-denmark-green-standards-university/>). El Instituto del Mundo Árabe (<https://www.archdaily.cl/cl/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel>). Pabellón Temático EXPO 2012 (<https://www.archdaily.com/236979/one-ocean-thematic-pavilion-expo-2012-soma>)

## **Materiales y método**

### *2.1. Método*

La metodología de esta investigación proyectual combina análisis teóricos, climáticos y tecnológicos para desarrollar una propuesta innovadora de fachada cinética que responda a las condiciones ambientales específicas del distrito de Chorrillos. Este estudio desarrolla una investigación de tipo básica-aplicada, porque se centra en generar conocimiento nuevo sobre el diseño de fachadas cinéticas mediante el uso de herramientas paramétricas, sin implementación práctica directa en un edificio construido. Aunque tiene un enfoque teórico, la propuesta proyectual puede servir como base para futuras aplicaciones prácticas.

**Enfoque Cualitativo:** El estudio no busca medir numéricamente el impacto, sino interpretar y analizar cómo las fachadas cinéticas pueden contribuir al confort térmico, la sostenibilidad y la estética en entornos urbanos. Además, se utilizan herramientas paramétricas para desarrollar un modelo conceptual basado en simulaciones y análisis.

**Diseño no experimental y fenomenológico:** El diseño no experimental implica que no se manipulan variables directamente (Hernández Sampieri et al., 2018), sino que se observan las condiciones climáticas y las características arquitectónicas del sitio para desarrollar una propuesta adaptativa. La perspectiva fenomenológica se utiliza para analizar cómo las condiciones climáticas afectan a las edificaciones y al confort de sus usuarios.

**Alcance Descriptivo-propositivo:** Descriptivo porque analiza las características climáticas y urbanas de Chorrillos, identificando problemáticas como la alta radiación solar y su impacto en el confort térmico; y propositivo porque plantea una solución arquitectónica innovadora, integrando técnicas de diseño paramétrico y estrategias sostenibles, contribuyendo al desarrollo urbano y al bienestar de los usuarios.

Se emplearon técnicas de investigación documental, observación y análisis cartográfico para recopilar, analizar y sintetizar la información necesaria. El proceso de investigación se estructuró en cinco fases principales, que abarcan desde la definición del problema hasta la obtención de conclusiones. A continuación, se describen detalladamente las etapas desarrolladas:

Fase 1: Definición del problema y marco teórico. Esta fase consistió en identificar el problema central: la alta exposición a la radiación solar en edificaciones urbanas y su impacto en el confort térmico y la sostenibilidad. Para ello:

Se realizó una revisión de literatura científica, tesis y estudios previos sobre fachadas cinéticas, modelado paramétrico y estrategias arquitectónicas sostenibles.

Se identificaron conceptos clave como teselación geométrica, eficiencia energética y adaptabilidad arquitectónica.

El marco teórico se basó en textos relacionados con tecnologías paramétricas, cinéticas y su relación con el diseño sostenible.

Fase 2: Análisis climático y zonal. Se llevó a cabo un análisis climático específico para Chorrillos, utilizando datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y herramientas como cartas solares y tablas de radiación UV:

Se identificaron patrones de radiación solar, destacando horarios y meses críticos.

Se utilizó software como Dr. Marsh para generar simulaciones solares que determinaron la exposición diaria en las orientaciones más vulnerables del edificio.

La Rosa de los Vientos proporcionó datos sobre la dirección y velocidad predominante de los vientos.

Fase 3: Diseño proyectual. El diseño se estructuró mediante:

Teselación geométrica: Inspirada en ejemplos arquitectónicos como las Torres Al Bahar, adaptada a un modelo modular de hexágonos y triangulaciones articuladas.

Prediseño: Creación de bocetos preliminares que se digitalizaron en AutoCAD para establecer geometrías precisas.

Modelado paramétrico: Desarrollo del modelo en Rhino-Grasshopper, definiendo la forma principal, la piel del edificio y el movimiento de las triangulaciones.

Fase 4: Desarrollo y simulación del modelo paramétrico. Esta fase incluyó la implementación técnica del diseño en Grasshopper:

Se emplearon herramientas como «Evaluate Curve» y «Construct Domain» para simular el comportamiento dinámico de la fachada frente a la incidencia solar.

Se optimizó la interacción entre la geometría y las condiciones solares mediante simulaciones en tiempo real.

Se generaron visualizaciones detalladas, como cortes longitudinales y elevaciones, que mostraron el impacto del diseño en el confort térmico y la eficiencia energética.

Fase 5: Conclusiones proyectuales y contribución a los ODS. En esta fase se consolidaron los hallazgos del diseño y su impacto potencial en el confort térmico, la habitabilidad y la sostenibilidad urbana:

Se evaluó la alineación de la propuesta con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), destacando el ODS 3 (salud y bienestar), ODS 7 (energía asequible y no contaminante), ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles) y ODS 13 (acción climática).

Se plantearon recomendaciones para replicar la propuesta en otros contextos urbanos con condiciones climáticas similares.

Fase	F1	F2	F3	F4	F5
Fase	Definición del problema y marco teórico.	Análisis climático y zonal.	Diseño proyectual.	Desarrollo y simulación del modelo paramétrico.	Conclusiones proyectuales y contribución a los ODS.
Meta	Identificar la principal problemática: la alta exposición a la radiación solar en edificaciones urbanas, sostenibilidad e impacto en el confort.	Realizar un análisis climático específico para Chorrillos, utilizando datos del SENAMHL, herramientas como cartas solares y tablas de radiación UV.	Realizar un diseño que se estructure mediante la: Tesselación geométrica, el pre diseño y el modelado paramétrico.	Esta fase incluyó la implementación técnica del diseño en Grasshopper, ajustándose a las necesidades climáticas.	En esta fase se consolidaron los hallazgos del diseño y su impacto potencial en el confort térmico, la habitabilidad y la sostenibilidad urbana.
Fuente de datos	Se realizó una revisión exhaustiva de literatura científica, tesis y estudios previos sobre fachadas cinéticas, modelado paramétrico y estrategias sostenibles.	Se utilizó software como Dr.Mash para generar simulaciones solares, identificando patrones de radiación solar, destacando horarios y meses críticos.	El diseño adoptado se inspiró de la tesselación geométrica de las Torres Al Bahar, adoptando a un modelo modular hexagonal con triangulaciones articuladas.	Rhino Grasshopper	Se evaluó la alineación de la propuesta con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con datos claves provenientes del Grasshopper.
Criterio de selección y/o justificación de información	Análisis descriptivo / exploratorio.	Características del clima de la zona de estudio, Chorrillos.	Realización de diseños de patrones.	Rhino Grasshopper	Prioridad en orientación solar, condiciones climáticas, eficiencia energética y experiencia del usuario guían el diseño de la fachada.
Resultado	Clasificación de sistemas de fachadas, a través de conceptos claves como tesselación geométrica, eficiencia energética y adaptabilidad arquitectónica.	Un mecanismo de acuerdo con los principios de movimiento diseñados.	Lograr efectos visuales dinámicos, funcionales y estéticamente atractivos con el diseño para la fachada cinética.	Diseño que resuelve la problemática de la radiación solar directa en las edificaciones, logrando confort en sus espacios.	La fachada cinética de Chorrillos optimiza luz, protege contra el clima y mejora eficiencia. Su adaptabilidad y mejora en la experiencia del usuario.

FIGURA 5. Fases y etapas del proceso de investigación. Fuente: elaboración propia

## 2.2. Análisis de sitio

### 2.2.1. Análisis Zonal

El distrito de Chorrillos es uno de los 43 distritos que conforman Lima Metropolitana y se encuentra ubicado en la costa peruana, a orillas del Océano Pacífico. Limita al norte con el distrito de Barranco, al noreste con Santiago de Surco, al

este con San Juan de Miraflores, al sureste con Villa El Salvador, y al oeste con el Océano Pacífico (Municipalidad de Chorrillos, n.d.). Sus coordenadas geográficas son: Latitud  $-12.1692$ , Longitud  $-77.0244$  ( $12^{\circ} 10' 9''$  Sur,  $77^{\circ} 1' 28''$  Oeste), y tiene una superficie de  $37,00 \text{ km}^2$ . El clima del distrito es árido, típico de la región costera del Perú.

Chorrillos posee un notable potencial turístico debido a su proximidad con distritos de alto nivel socioeconómico y atractivos turísticos importantes como los Pantanos de Villa y el Morro Solar. Además, cuenta con una variada oferta de restaurantes y otros servicios que refuerzan su atractivo. Por estas razones, la ubicación seleccionada para el estudio de caso es ideal, ya que podría contribuir al desarrollo del distrito en términos turísticos y arquitectónicos.



FIGURA 6. Ubicación del distrito de Chorrillos (Fuente: Elaboración propia)

Observaciones del sitio. Durante una visita de estudio durante mes de Noviembre del año 2024, se realizó una inspección detallada del estado de las edi-

ficaciones, con especial énfasis en el diseño de las fachadas en los alrededores del área de intervención:

La mayoría de las edificaciones observadas son de tipo plurifamiliar, y la zona frente al malecón se caracteriza por ser predominantemente residencial, con un nivel socioeconómico alto.

En cuanto a las soluciones adoptadas para enfrentar la radiación solar directa, se identificaron estrategias como el uso de ventanas oscuras, plantas altas y cortinas.

Sin embargo, el uso predominante de vidrio en las ventanas genera una fuerte reflexión solar, lo que puede perjudicar a los transeúntes, principalmente turistas.

Solo se encontró una edificación que incorporaba un voladizo adecuado en la losa, brindando protección efectiva contra la radiación solar al interior del departamento.

Los materiales utilizados en las construcciones observadas son los típicos de edificaciones convencionales, sin evidencia de innovaciones modernas en términos de diseño o tecnología arquitectónica. Esto resalta una oportunidad para integrar soluciones innovadoras en el diseño arquitectónico del distrito.

Condiciones del lote. Se tomaron fotografías del lote destinado para el desarrollo del estudio de caso. Actualmente, el terreno se encuentra en estado de abandono. No obstante, su ubicación en una esquina estratégica, con un potencial visual significativo, lo convierte en un espacio idóneo para una propuesta arquitectónica.



**FIGURA 7.** Fotografías del estado actual de las fachadas en el malecón de Chorrillos (Fuente: Elaboración propia)



**FIGURA 8.** Esquina de la Av. Malecón Grau en cual se visualiza el lote del proyecto analizado para el caso  
(Fuente: Elaboración propia)

### 2.2.2. Análisis climatológico

#### Radiación Solar

En el distrito de Chorrillos, la incidencia de la radiación solar ha alcanzado niveles alarmantes de hasta 11 UV, según datos del SENAMHI. Estos niveles exceden ampliamente el rango considerado moderado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), que establece un índice UV de 3 a 5 como seguro. La exposición a índices UV tan elevados sin protección representa un riesgo significativo para la salud humana. Además, las edificaciones altas situadas alrededor del malecón también se ven afectadas por este fenómeno, evidenciando la necesidad de soluciones arquitectónicas adaptativas. El Perú, debido a su proximidad a la línea ecuatorial, se beneficia de una alta incidencia solar, lo que ofrece un gran potencial para la generación de energía solar limpia y sostenible. Sin embargo, esta ubicación también implica desafíos climáticos. Fenómenos meteorológicos extremos, como El Niño, afectan principalmente la región norte del país, generando temperaturas elevadas, sequías e inundaciones que impactan en la agricultura y la seguridad alimentaria. Este contexto resalta la importancia de incorporar estrategias resilientes en el diseño arquitectónico.

#### Rosa de los Vientos y Condiciones Climáticas

La Rosa de los Vientos para Chorrillos muestra que los vientos predominantes soplan de oeste a este, con velocidades que oscilan entre 12 y 19 km/h, clasificándose

como Brisa Ligera según la Escala de Beaufort (Náutica Profesional, 2024). Estas condiciones proporcionan un flujo de aire moderado que es percibido como una brisa ligera por los usuarios. En cuanto a las precipitaciones, los meses de enero a abril presentan los niveles más altos, coincidiendo con la manifestación del fenómeno de El Niño, que incrementa las lluvias en la región costera. Estos patrones estacionales son fundamentales para determinar las estrategias de diseño arquitectónico y de protección.

### Exposición Solar por Meses y Horarios

Un análisis detallado de la volumetría en el terreno revela lo siguiente:

**Exposición directa al sol:** De enero a julio, el edificio recibe radiación solar directa en el horario de las 2 p.m., coincidiendo con el punto más alto del sol.

**Radiación matutina:** Todos los meses del año presentan radiación directa a las 10 a.m., aunque en este horario la intensidad no es tan fuerte, sigue siendo necesaria una protección adecuada.

**Radiación final del día:** A las 4 p.m., la fachada norte recibe la radiación final del día, siendo esta una de las áreas más afectadas.

Estas observaciones destacan la importancia de integrar medidas protectoras que reduzcan la exposición solar y mejoren la eficiencia energética del edificio

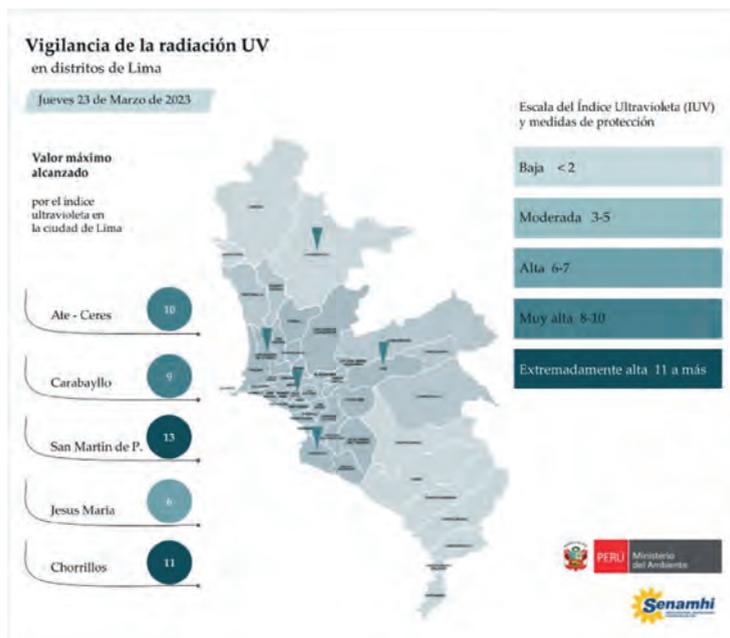


FIGURA 9. Registro de Radiación UV en distritos de Lima por Senamhi al año 2023 (Fuente: Elaboración propia)

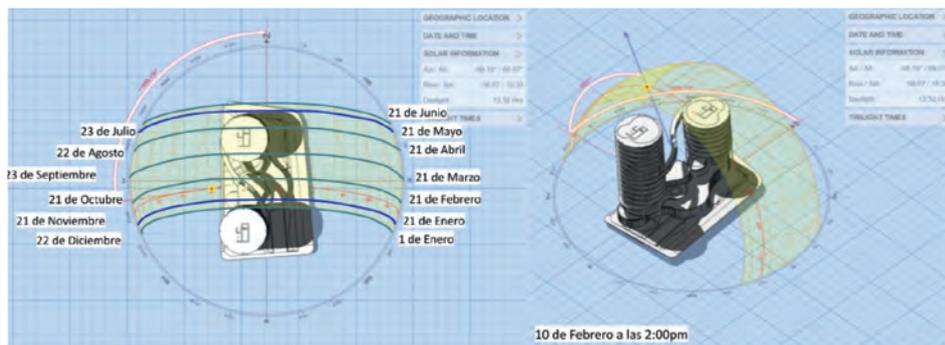


FIGURA 10. Carta solar de volumetría en terreno analizado con 3D Dr. Marsh (Fuente: Elaboración propia)

### 2.3. Diagnóstico

#### *Intervención con Fachadas Cinéticas*

Para el caso de estudio y basándose en los datos obtenidos, se ha determinado que la instalación de fachadas cinéticas será prioritaria en las áreas más afectadas por la radiación solar en el lote seleccionado. En particular:

Fachada oeste: Se identificó como la más expuesta, especialmente durante las horas de mayor intensidad solar.

Porción específica de la fachada este: Aunque con menor incidencia, también se implementarán soluciones en esta zona para optimizar la protección.

La intervención se diseñó tras un análisis de las condiciones climáticas y la exposición solar, con el objetivo de maximizar la eficacia de las medidas correctivas, proporcionando un entorno más confortable y eficiente para los usuarios.

## 4. Resultado

### 3.1 Diseño de la fachada cinética en base a técnicas de teselación

La teselación es un método ampliamente utilizado en diversas disciplinas, como la agricultura de precisión, la renderización en tiempo real y la hidrodinámica. Esta técnica consiste en segmentar una superficie o plano en figuras más pequeñas, conocidas como mosaicos o polígonos, asegurando que no existan superposiciones ni espacios vacíos entre ellas (Weijgaert, 2019). El diseño de proyecto adoptado para el caso de estudio se inspira en las Torres Al Bahar; no obstante, se realizaron ajustes

significativos en la escala de altura y anchura de los elementos para responder adecuadamente a la intensa radiación solar del contexto local.

La modificación de la escala busca optimizar el rendimiento del diseño original, proporcionando protección adecuada por piso y mejorando la estética arquitectónica. Cada hexágono mide 1.66 m y, al dividirse en seis partes, genera triángulos de 0.83 m x 0.93 m x 0.93 m. Estas triangulaciones permiten un movimiento dinámico de apertura y cierre, adaptándose a las condiciones ambientales y regulando de manera eficiente la luz y sombra en el interior. La altura de 3.31 m por piso, es adecuada para espacios de oficina y facilita la circulación del aire. Además, se han dispuesto dos hexágonos por piso para garantizar la protección necesaria

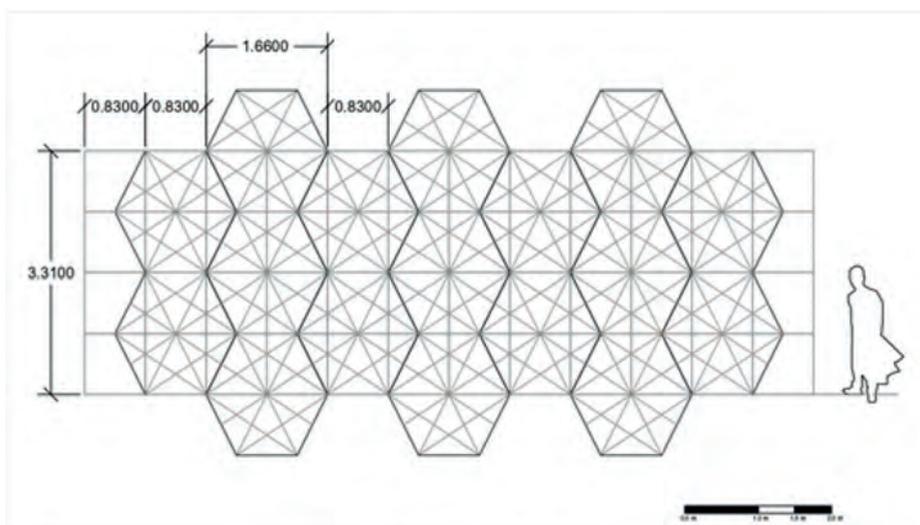


FIGURA 11. Diseño de teselación en una planta - Vista en elevación. Fuente: Elaboración Propia

### 3.2 Desarrollo del modelo de prueba paramétrico en Rhino - Grasshopper

#### 3.2.1. Contexto ambiental

El cambio climático, un fenómeno relevante en las últimas décadas, ha generado importantes problemas, incluyendo enfermedades causadas por la radiación UV. El desgaste de la capa de ozono incrementa la incidencia de estos rayos, afectando el confort de los espacios diseñados para el ser humano. En este contexto, las fachadas cinéticas emergen como una solución efectiva: «Las fachadas cinéticas reducen los efectos nocivos de los rayos UV mediante un sistema de paneles modulados que responden electrónicamente a una programación en Grasshopper. Esta informa-

ción se transfiere a una placa que conecta el controlador con los sensores de Arduino» (Alulima & Cuenca, 2016).

### 3.2.2. *Proceso de diseño*

El diseño de prueba del proyecto para el caso de estudio ha sido desarrollado utilizando el software Rhino-Grasshopper, con un enfoque en la implementación progresiva de una fachada cinética. Este componente aborda aspectos fundamentales del proyecto, como las alturas de las torres y el número de pisos, integrándose dinámicamente con el entorno solar. El desarrollo de la fachada cinética se llevó a cabo en tres etapas principales:

**Definición de la forma principal:** Se estableció la estructura que soportará las celosías, configurando una base sólida para las siguientes fases del diseño.

**Creación de la superficie:** Se diseñó la piel del edificio, considerando tanto la interacción estética como funcional con el entorno.

**Movimiento de las triangulaciones:** Se detalló el diseño articulado de cada triangulación para garantizar una integración armónica y un movimiento dinámico que responda eficazmente a las variaciones solares.

Este enfoque permite una solución arquitectónica innovadora y sensible al entorno, donde la fachada cinética no solo responde a criterios estéticos, sino que también cumple un propósito funcional, adaptándose inteligentemente a las condiciones cambiantes del entorno solar.

### 3.2.3. *Herramientas utilizadas*

El modelo paramétrico se centra en la respuesta dinámica a las variaciones solares. Herramientas como «Evaluate Curve» y «Construct Domain» en Grasshopper permitieron analizar el movimiento solar y optimizar la interacción entre la geometría y la incidencia solar. Este enfoque innovador aplicado en el proyecto aborda los desafíos del cambio climático, como el aumento de enfermedades relacionadas con la radiación UV debido al desgaste de la capa de ozono (OMS, 2022).

#### 3.2.1. *Aportes de la prueba de propuesta arquitectónica*

##### Organización espacial

El corte longitudinal del proyecto propuesto (Ver Imagen) ofrece una visión clara de los espacios interiores. Las primeras plantas están destinadas a usos comunes, como tiendas, jardines, cafeterías y restaurantes, promoviendo un entorno

acogedor y socialmente vibrante. El sótano alberga estacionamientos, optimizando la movilidad dentro del complejo.

Las dos torres principales, diseñadas para oficinas, cuentan con una estructura portante integral. Las columnas proporcionan soporte esencial, mientras que las placas circundantes envuelven las áreas de circulación, contribuyendo a la cohesión funcional y arquitectónica del proyecto.

#### Respuesta climática y diseño estético

En un enfoque innovador, la fachada cinética se ha diseñado para proteger eficazmente las orientaciones oeste y este, identificadas como las más vulnerables según el análisis solar previo. Esta solución no solo mejora el confort térmico de los usuarios, sino que también capitaliza las vistas al atardecer características de Chorrillos, fomentando el desarrollo turístico y económico de la región.

La integración de Revit y Grasshopper permitió garantizar precisión y coherencia en la representación de los elementos arquitectónicos, logrando un proyecto que equilibra eficiencia, estética y sostenibilidad. La elevación oeste, que enfrenta la pronunciada pendiente del terreno, se identifica como un componente crítico que requiere atención especial. La fachada cinética desempeña un papel protector al envolver las torres, mitigando los impactos ambientales y preservando la integridad estructural.

### *3.3. Optimización del diseño y su impacto en el confort térmico*

La fachada cinética protege eficazmente las orientaciones oeste y este, identificadas como las más afectadas en el estudio solar. Este diseño no solo optimiza el confort térmico, sino que también capitaliza las vistas externas al atardecer. La integración de Revit y Grasshopper garantiza coherencia y precisión en la representación de estos elementos arquitectónicos.

La estructura de la fachada, con una altura de 37 metros y 12 pisos, utiliza hexágonos triangulados con dimensiones precisas. Estas triangulaciones incorporan líneas notables, como la ceviana, la mediana y la altura, que guían la deformación controlada bajo la radiación solar. Esto permite una apertura y cierre dinámico, simulando el movimiento de los pétalos de una flor y respondiendo de manera inteligente a la incidencia solar.

### *3.4. Conclusión de los resultados*

El desarrollo de esta prueba del modelo paramétrico de la fachada cinética en Rhino-Grasshopper ha permitido demostrar la viabilidad de una solución arquitectó-

nica innovadora, adaptativa y sensible a las condiciones climáticas específicas del distrito de Chorrillos. Aunque se trata de una propuesta proyectual, los resultados destacan el potencial de esta solución para mitigar los efectos de la radiación solar directa, mejorar el confort térmico y reducir la dependencia de sistemas artificiales de climatización.

El diseño se centra en la integración armónica de estética y funcionalidad, logrando un balance entre la protección solar, la ventilación natural y la optimización de la luz en los espacios interiores. La implementación estratégica de sistemas cinéticos modulares, articulados mediante herramientas paramétricas, ofrece una respuesta dinámica a las variaciones solares y climáticas, fortaleciendo la sostenibilidad del proyecto. Adicionalmente, la incorporación de espacios verdes y áreas recreativas subraya el compromiso con la calidad ambiental, enriqueciendo el entorno urbano y promoviendo el bienestar de los usuarios. El enfoque integral no solo responde a las necesidades funcionales del edificio, sino que también posiciona la propuesta como un modelo replicable en entornos urbanos similares.

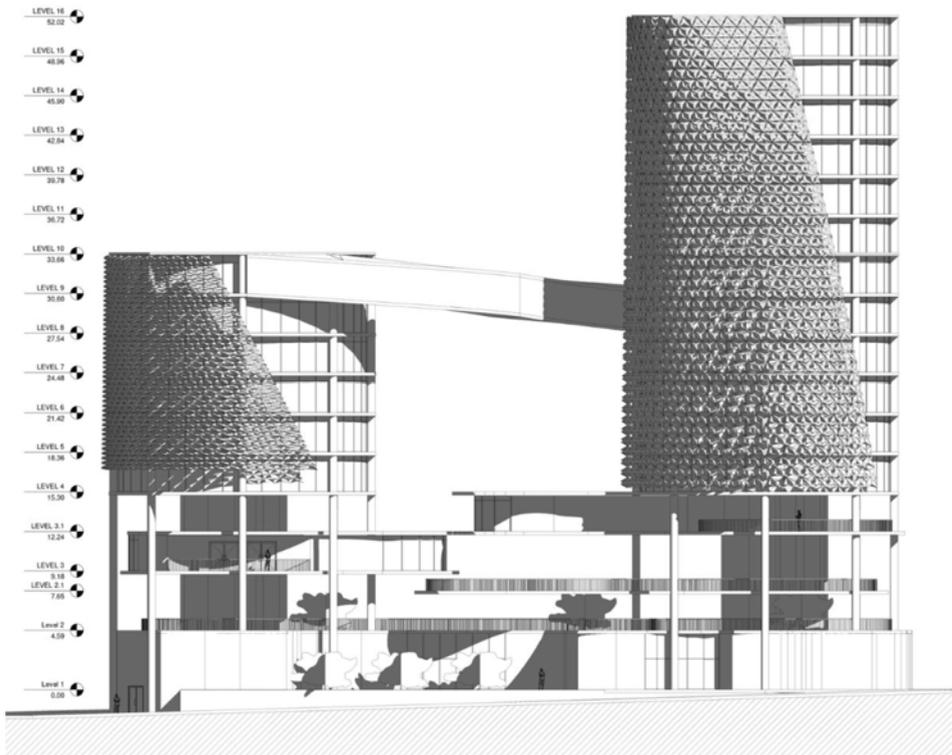


FIGURA 12. Elevación este del edificio. Fuente: Elaboración propia

En conclusión, esta prueba proyectual representa una contribución significativa al diseño arquitectónico contemporáneo al abordar simultáneamente retos climáticos, funcionales y estéticos, sentando las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito de la arquitectura sostenible y adaptativa.

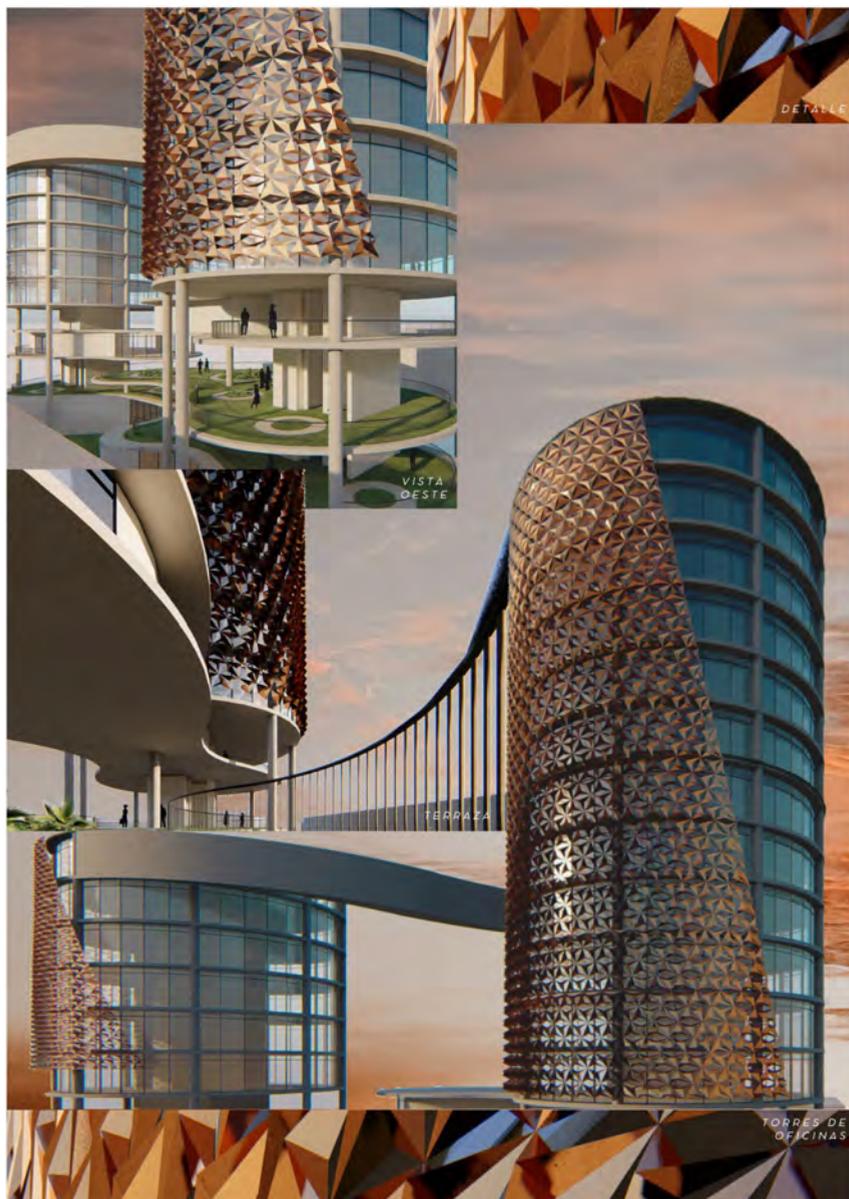


FIGURA 13. Render de la torre mayor. Fuente: Elaboración propia



FIGURA 14. Render de la torre mayor. Fuente: Elaboración propia

## Discusión

La prueba de la propuesta de implementación de la fachada cinética en el diseño proyectado ha demostrado su potencial para abordar los desafíos climáticos y archi-

tectónicos específicos del distrito de Chorrillos. Este sistema responde de manera adaptativa a la incidencia solar, especialmente durante las horas de mayor radiación, cerrándose para proporcionar una protección efectiva y reducir la dependencia de sistemas artificiales como el aire acondicionado. Si bien es un ejercicio teórico, su aplicabilidad proyectada resalta soluciones innovadoras para mejorar el confort térmico en edificaciones de zonas urbanas con alta exposición solar.

La implementación de fachadas cinéticas en edificaciones permite optimizar el consumo energético, así como mejorar la adaptabilidad a las variaciones ambientales y a las demandas de los usuarios (Flora Fakourian, Maziar Asefi, 2019)

Es relevante señalar que el concepto de fachadas cinéticas es relativamente nuevo en Perú; sin embargo, en países más desarrollados como Europa y América del Norte, continúa siendo objeto de investigación activa y se llevan a cabo estudios de campo. Actualmente, hay una falta de aplicaciones para generar energía a través de la integración de elementos cinéticos en las fachadas de los edificios, incluyendo fachadas solares con tecnologías innovadoras para captar la radiación solar (Ahmed Abdelwahed Mekhamar, Ahmed Halim Hussein, 2021)

Elaborar una investigación brinda a diseñadores e investigadores la oportunidad de explorar este campo crucial mediante la experimentación de nuevas estrategias y aplicaciones innovadoras, fomentando así el avance en el estudio de fachadas cinéticas.

Las investigaciones deben llevarse a cabo en diversos contextos, países, climas y materiales, ya que la respuesta en el sur de una región no será igual que en el norte. Además, un estudio más detallado de las fachadas cinéticas puede proporcionar mayores beneficios, considerando la alta inversión requerida, lo cual representa un reto para los investigadores.

La fachada, diseñada para responder dinámicamente a la radiación solar estacional, cumple una doble función al reducir la ganancia de calor en verano y facilitar la calefacción pasiva en invierno. Este sistema puede cubrir hasta el 26% de la demanda energética del edificio, generando energía renovable, controlando la iluminación natural, mejorando el confort de los ocupantes y disminuyendo la dependencia de la iluminación artificial (Sureshkumar Jayakumari, S.D.; Imalka, S.T.; Yang, R.J.; Liu, C.; Yang, S.; Marschall, M.; Corradini, P.S.; Benito, A.F.; Williams, N, 2024).

Además, el diseño enfatiza la integración de estrategias sostenibles que combinan funcionalidad y estética. La incorporación de elementos cinéticos y soluciones dinámicas no solo mejora la eficiencia energética, sino que también establece un precedente para futuras intervenciones arquitectónicas en contextos urbanos simi-

lares. La propuesta subraya cómo la arquitectura contemporánea puede contribuir a un entorno más habitable y atractivo, transformando no solo el espacio construido, sino también la experiencia urbana.

En resumen, esta propuesta de fachada cinética presenta un modelo replicable para enfrentar los desafíos climáticos en entornos urbanos, promoviendo un equilibrio entre innovación, sostenibilidad y atractivo arquitectónico, siempre que se consideren las investigaciones adecuadas, tanto actuales como futuras. A medida que la arquitectura evoluciona hacia enfoques más resilientes, soluciones como esta resaltan el potencial transformador de la disciplina para mejorar el entorno urbano y el bienestar de sus usuarios.

## 6. Conclusión

La prueba desarrollada como propuesta de una fachada cinética elaborada mediante herramientas paramétricas en Rhino-Grasshopper representa una solución arquitectónica innovadora y adaptativa, diseñada para mitigar los efectos de la radiación solar excesiva en entornos urbanos como el distrito de Chorrillos. Aunque se trata de una propuesta proyectual, sus características funcionales, estéticas y sostenibles ofrecen un modelo viable para enfrentar los desafíos climáticos contemporáneos.

**Confort térmico y eficiencia energética:** La fachada cinética demuestra su potencial para mejorar significativamente el confort térmico en las edificaciones, al regular dinámicamente la entrada de luz solar y reducir la dependencia de sistemas artificiales de climatización. Este diseño resalta la importancia de las soluciones arquitectónicas pasivas y activas en la búsqueda de edificios más eficientes energéticamente.

**Innovación tecnológica en arquitectura:** La integración de herramientas paramétricas como Rhino-Grasshopper permitió la conceptualización de un sistema cinético funcional y estéticamente atractivo, que responde a las condiciones ambientales cambiantes. Este enfoque destaca cómo las tecnologías digitales pueden revolucionar la forma en que diseñamos y construimos edificios adaptativos y sostenibles.

**Impacto urbano y turístico:** La propuesta posicionaría a la edificación como un hito arquitectónico en Chorrillos, no solo mejorando la calidad de vida de los usuarios, sino también impulsando el atractivo turístico del distrito. La combinación de

diseño innovador y funcionalidad arquitectónica tiene el potencial de transformar la percepción del entorno urbano y fomentar el desarrollo económico local.

Aporte a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

- ODS 3: Salud y bienestar. La regulación térmica y la protección contra la radiación solar contribuyen al bienestar de los usuarios, reduciendo los riesgos asociados a la exposición excesiva a los rayos UV.
- ODS 7: Energía asequible y no contaminante. La fachada cinética minimiza el consumo energético mediante el uso de soluciones pasivas, fomentando edificaciones más eficientes y sostenibles.
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles. El diseño contribuye a la creación de ciudades más habitables, resilientes y sostenibles, integrando elementos arquitectónicos innovadores y funcionales en el tejido urbano.
- ODS 13: Acción por el clima. La propuesta aborda los desafíos del cambio climático al integrar estrategias arquitectónicas que responden dinámicamente a las condiciones climáticas y promueven la reducción de emisiones asociadas al consumo energético.

Sostenibilidad y replicabilidad: Este proyecto establece un precedente para la implementación de soluciones arquitectónicas dinámicas y sostenibles, que pueden replicarse en otros contextos urbanos con desafíos climáticos similares. La combinación de innovación, funcionalidad y sostenibilidad subraya el papel transformador de la arquitectura en la mejora del entorno construido.

En conclusión, la prueba del desarrollo de la fachada cinética no solo aborda los desafíos térmicos y climáticos específicos de Chorrillos, sino que también establece una nueva perspectiva para el diseño arquitectónico contemporáneo, al combinar tecnología avanzada, sostenibilidad y un enfoque centrado en las personas. Este modelo proyectual refuerza el compromiso de la arquitectura con la mejora de las ciudades, comunidades, investigación, contribuyendo al logro de un desarrollo más inclusivo y resiliente.

## Bibliografía

- ArchDaily. (2022, 3 de agosto). Museo Nacional del Perú (MUNA) / leonmarcial arquitectos. Recuperado el 14 de septiembre de 2023, de <https://www.archdaily.pe/pe/986116/museo-nacional-del-peru-muna-leonmarcial-arquitectos>
- Bayar, M. (2020). Design and computational optimization of a kinetic facade (Tesis de maestría). Yaşar University Graduate School.
- Dorozhkina, E., Pastukhov, A. V., Averyanova, A. V., & Stepanov, K. I. (2021). Eco-trends in the decoration of facades of houses of modern industrial series. E3S Web of Conferences.
- Greiner, A., Böckmann, O., Weber, S., Ostermann, M., & Schaefer, M. (2022). CoolSkin: A novel façade design for sustainable solar cooling by adsorption. *Journal of Facade Design and Engineering*, 10(2).
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Interamericana.
- Heidari Matin, N., Eydgahi, A., & Shyu, S. (2017, junio). Comparative analysis of technologies used in responsive building facades. En *Actas de la 2017 ASEE Annual Conference & Exposition*, Columbus, Ohio. <https://doi.org/10.18260/1-2--28052>
- Tapia, D. (2023, 11 de abril). ¿Cuáles son los distritos con mayor radiación ultravioleta?
- Lozano Álvarez, A., & Vidalón Quiroga, S. (2018). Retos para la sostenibilidad de las micro y pequeñas empresas: caso de la región Lambayeque. Quipukamayoc. Meteoblue. (n.d.). Datos climáticos históricos de Chorrillos, Argentina. Recuperado de [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/chorrillos\\_argentina\\_3861284](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/chorrillos_argentina_3861284)
- Nalcaci, G., & Nalcaci, G. (2020). Modeling and implementation of an adaptive facade design for energy-efficient buildings based on biomimicry. *International Journal of Building, Urban, Interior and Landscape Technology (BUILT)*.
- Náutica Profesional. (n.d.). Escala Beaufort y Douglas. Recuperado de <https://nauticaprofesional.com/escala-beaufort-y-douglas/>
- OMS Organización Mundial de la Salud / World Health Organization. (2022). Ultraviolet radiation. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>

- Ramzy, N., & Fayed, H. (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings. *Sustainable Cities and Society*.
- Rossi, C. (2020). Ancient Egyptian architecture. *The Journal of Egyptian Archaeology*, 106.
- Seyrek Şık, C.I., Woźniczka, A., & Widera, B. (2022). A conceptual framework for the design of energy-efficient vertical green façades. *Energies*.
- Silva, J.A., Otoya, J.A., & Alvarado, V.R. (2017). Análisis macroeconómico del sector construcción en el Perú. *Quipukamayoc*.
- Yegül, F.K., & Favro, D. (2019). *Roman architecture and urbanism*. Cambridge University Press.
- Weijngaert, V.D. (2019). Velocity field statistics and tessellation techniques. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.
- Fakourian, F., & Asefi, M. (2019). Environmentally responsive kinetic façade for educational buildings. *Journal of Green Building*.
- Mekhamar, A.A., & Hussein, A.H. (2021). Brief overview of climate responsive facades & its kinetic applications. *Engineering Research Journal*.
- Jayakumari, S.D., Imalka, S.T., Yang, R.J., Liu, C., Yang, S., Marschall, M., Corradini, P.S., Benito, A.F., & Williams, N. (2024). Energy and daylighting performance of kinetic building-integrated photovoltaics (BIPV) façade. *Sustainability*.
- Aksamija, A. (2013). High-performance building envelopes: Design methods for energy efficient facades. *Actas de la conferencia BEST4 (Building Enclosure Science and Technology)*.
- Moloney, J. (2011). *Designing kinetics for architectural facades: State change*. Routledge.
24. Pan, C.A. & Jeng, T. (2010). A robotic and kinetic design for interactive architecture. *Actas de la Conferencia Anual SICE 2010*.