

Paper

Optimización de la ventilación natural en el diseño y adaptación de aulas en contextos de emergencia sanitaria en escuelas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Maggi, Alejandro

alejmaggi@gmail.com

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Maestría en Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo. Buenos Aires, Argentina.

Palabras clave

Ventilación natural, Infraestructura escolar, Emergencia sanitaria, Arquitectura sustentable.

Resumen

La ventilación adecuada en espacios educativos es fundamental para garantizar ambientes seguros y saludables, especialmente en el contexto de emergencias sanitarias como la pandemia de COVID-19. Este estudio se enfoca en la optimización de la ventilación natural en aulas escolares de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires durante situaciones de crisis sanitaria.

La investigación aborda el diseño y la adaptación de espacios educativos para mejorar la circulación del aire y reducir el riesgo de contagio en entornos escolares. Se analizan casos de estudio específicos que destacan la importancia de la ventilación en la prevención de enfermedades respiratorias y en la promoción de la salud de los estudiantes y el personal educativo.

Los resultados de la investigación resaltan la necesidad de implementar estrategias efectivas para optimizar la ventilación natural en aulas escolares, incluyendo la adecuada disposición de ventanas, la utilización de elementos arquitectónicos para favorecer la circulación del aire, y el uso de sistemas inteligentes de control de la ventilación.

Además, se discute la importancia de la reflexión investigativa en la formulación de soluciones prácticas y efectivas. Se aborda la relevancia de considerar no sólo los aspectos técnicos del diseño, sino también las necesidades y el bienestar de los ocupantes de los espacios escolares.

En el contexto de una tesis de maestría SAU, este estudio plantea interrogantes y abre espacio a nuevos interrogantes: ¿Cómo pueden las preguntas de investigación enriquecer el proceso de diseño arquitectónico y la adaptación de los espacios educativos? ¿Qué rol juegan las preguntas en la identificación de soluciones innovadoras y sostenibles para mejorar la calidad del aire interior en las escuelas? Estas cuestiones no solo delimitan el alcance y los objetivos de la investigación, sino que también guían la exploración de nuevas metodologías y enfoques en el campo de la arquitectura sustentable y el diseño urbano.

Introducción

La problemática de la sustentabilidad suele abordarse integrando sus tres áreas o pilares: la económica, la social y la ambiental. Ello implica direccionar los recursos hacia usos más eficientes, distribuyéndolos equitativamente entre los distintos sectores sociales, con el menor impacto ambiental y buscando la integración del hombre con la naturaleza. Para lograrlo, existen diversas estrategias que pueden aplicarse en cada uno de los ámbitos. En arquitectura es frecuente referirse al diseño bioclimático / bioambiental, equipamiento y nuevas tecnologías aplicadas, materiales responsables con el medio ambiente, gestión de residuos, el rol del usuario y confort, etc. como algunas de ellas.

En ese marco, se considera que la ventilación natural es una estrategia muy importante del diseño bioclimático, ya que, a través de ella, se puede renovar el aire interior de los espacios garantizando una buena calidad de aire, también se logra refrescar a los ocupantes y disipar el calor acumulado en el interior de los espacios sin ningún consumo energético asociado. Desde hace décadas,

en todas las ciudades de Argentina, las normativas exigen destinar una determinada superficie de abertura para la ventilación de los locales, entendiendo el rol fundamental para el adecuado desarrollo de las actividades que las personas llevan a cabo en los espacios cerrados.

Los establecimientos educativos congregan gran cantidad de personas y tienen la función social de la educación y la formación integral de sus alumnos, por ello resulta fundamental que cuenten con condiciones ambientales adecuadas, ya que éstas influyen en el proceso de enseñanza y aprendizaje y, en general, en todo el trabajo docente. De ahí que investigaciones que aporten datos de la infraestructura actual, simulen posibles modificaciones y generen nuevos diseños responsables con el medio ambiente permiten tomar decisiones hacia mejoras y evolucionar adaptándose a las necesidades de los usuarios en relación con las condiciones ambientales del lugar o región climática.

En un contexto mundial de pandemia a causa de un virus de transmisión oral (directa) o por superficies infectadas (indirecta), los espacios públicos como medios donde se desarrollan actividades diarias cobran un rol fundamental en garantizar condiciones seguras para todos los ciudadanos.

Según la UNESCO, la pandemia del COVID-19 manifestó vulnerabilidades en el mundo entero, pero también el gran potencial humano que obliga a tomar acciones rápidas, basadas en principios comunes a las sociedades, en un contexto de derechos humanos y desarrollo basados en una visión humanista de la educación. Resulta pertinente y necesario apoyar el desarrollo de estrategias de edificación sustentable hacia edificios ambientalmente eficientes con el aporte de los contenidos a desarrollar en la investigación. (Comisión Internacional sobre los Futuros de la Educación, 2020)

En el marco de una tesis de Maestría en Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo, se intercala la investigación junto con la reflexión a través de preguntas que abren el espacio a interrogantes integrados con los enfoques de aquella.

Planteo del problema

Dentro de las variables que definen las condiciones ambientales de los espacios para la educación, la calidad del espacio interior (CEI) contempla temperatura, acústica, iluminación y calidad de aire. En ese marco, la calidad del aire interior en los espacios de las escuelas es un factor clave para el bienestar y el desarrollo del aprendizaje tal como se desprende de numerosos estudios desarrollados en los últimos años, aunque en Latinoamérica se disponga de escasa información que vincule algunos problemas detectados en las escuelas con las condiciones del aire interior (San Juan et al., 2014).

¿Cómo influyen las condiciones ambientales internas en el rendimiento académico y la salud de los estudiantes en contextos urbanos densos?

Cuando en un espacio la ocupación supera el estándar reglamentado surgen serios problemas de concentración de dióxido de carbono (CO₂). A esto, se suman tres elementos que inciden en la situación: por un lado, la afección producida por las emisiones del entorno en las zonas urbanas con intenso tránsito vehicular; por el otro, los materiales de construcción en espacios interiores que se caracterizan por la facilidad de generar hongos y emitir TVOC (Compuestos Orgánicos Volátiles Totales, por sus siglas en inglés) y finalmente, los métodos y elementos de limpieza diaria en aulas de uso habitual que, al ser contraproducentes para la salud de los ocupantes, exigen mayor demanda de ventilación. A su vez, cabe atender la complementación entre estrategias de diseño, particularmente la protección solar a fin de facilitar la capacidad de ventilación natural, permitiendo controlar el ingreso de luz natural sin anular o dificultar el movimiento y renovación de aire a través del aula.

Los Criterios y Normativa Básica para Arquitectura Escolar recomendaron un espacio mínimo de 11 m³ por alumno en un aula y define según la Zona Bioambiental (Norma IRAM 11603) el requerimiento de paños vidriados y ventilación cruzada. El Código de Edificación de CABA define al aula como un local de primera clase e indica que no debería comprender una superficie menor a 1.35 m² por alumno y su volumen no debería ser inferior a 5 m³ por alumno. Debido a la obligatoriedad del Código en obras nuevas, se presume así que gran parte de las escuelas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires presentan renovaciones de aire y niveles de ventilación natural aceptables en sus áreas de estudio. Si bien la mayoría de las aulas están configuradas de forma cuadrada o rectangular (CNAE), la relación con la altura y las ventanas varían en cada establecimiento, por lo que resulta útil verificar los niveles de ventilación y renovación de aire para distintos casos típicos con el fin de evidenciar condiciones aptas para sus ocupantes.

¿Qué estrategias de diseño bioclimático y ventilación natural son más efectivas para mejorar la calidad del aire en las escuelas urbanas?

En este contexto, se contempla la ventilación en forma complementaria a la situación de ruido urbano y la iluminación natural ya que, en general, están integrados en las aberturas como sistema que vincula interior y exterior de un local de estudio. Circunstancias mundiales relacionadas a enfermedades de altos índices de contagios y mortandades por coronavirus y otros causantes obligan a reflexionar, reconsiderar y actualizar las formas de habitar en un contexto de emergencia sanitaria. El avance del virus SARS-CoV-2 determinó que a comienzos de 2020 la Organización Mundial de la Salud declarara el estado de pandemia, marcando el comienzo de una etapa de profunda crisis social, cultural y económica. La educación fue mencionada como uno de los desafíos más importantes a evaluar su futuro, impactada por el cierre de escuelas durante varias semanas. (Cisterna y Tadeo Abate, 2021).

¿Cómo puede la ventilación natural en el diseño escolar contribuir a mitigar los riesgos de transmisión de enfermedades infecciosas en espacios educativos?

La ventilación de ambientes es considerada uno de los 4 pilares del cuidado frente a la pandemia por COVID-19 (MINCYT), aspecto clave en situaciones de emergencia sanitaria. Así, el Ministerio de Salud de la Nación y el Ministerio de Ciencia y Tecnología lanzaron en 2021 la campaña “Ventilar”, donde se recomienda la ventilación constante de los ambientes como factor clave en la prevención del COVID-19 o del contagio de la enfermedad. Adicionalmente, menciona el monitoreo de dióxido de carbono como estrategia para evaluar el grado de estanqueidad del aire interior.

¿Cuáles son los desafíos y oportunidades para implementar estrategias de ventilación natural en el diseño y mantenimiento de edificios escolares en contextos urbanos densos?

En ese marco, el desarrollo de esta investigación tiene como objetivo generar evidencia sobre el cumplimiento de las normativas y recomendaciones vigentes en materia de calidad del aire en escuelas urbanas de CABA. Esto facilitará el desarrollo de criterios, modelos y estrategias de ventilación natural adaptadas a las necesidades locales, promoviendo así el desarrollo sustentable en el ámbito educativo y más allá, integrando los pilares ambientales, sociales y económicos.

Estado de la Cuestión

La arquitectura contemporánea ha evolucionado significativamente hacia la integración de prácticas sustentables, especialmente en respuesta a las crisis energéticas y ambientales globales. La ventilación natural se ha consolidado como una estrategia fundamental para optimizar el uso de energía en edificios. Conceptos como la Arquitectura Bioclimática promueven el diseño de espacios que aprovechan las condiciones climáticas locales para reducir la dependencia de sistemas mecánicos de climatización. Esta aproximación no solo mejora la eficiencia energética, sino que también contribuye a la salud y bienestar de los ocupantes al proporcionar una circulación constante de aire fresco y controlar la calidad del aire interior (Fuentes y Rodríguez, 2004).

¿Cuál es el impacto de la ventilación natural en la eficiencia energética y la calidad del aire interior en edificaciones sustentables?

La calidad del aire interior (IAQ) es esencial para la salud humana y el rendimiento en ambientes cerrados como escuelas. La adecuada ventilación natural permite reducir la concentración de contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂), mejorando así la concentración y el bienestar de los estudiantes y profesores (Barrett et al., 2019). La pandemia de COVID-19 ha subrayado la importancia de la ventilación adecuada en la mitigación de riesgos para la salud en entornos educativos, destacando la necesidad de estrategias efectivas de diseño arquitectónico para mantener espacios seguros y saludables (Di Giglio et al., 2021).

En Argentina, la renovación pedagógica y la transformación de las escuelas secundarias bajo el marco de "Secundaria Federal 2030" subrayan la importancia de mejorar la infraestructura escolar para promover un ambiente de aprendizaje inclusivo y de calidad (Ley de Educación Nacional N° 26.206). El diseño arquitectónico debe adaptarse para cumplir con estos estándares, integrando criterios de confort, accesibilidad y sostenibilidad que mejoren significativamente la experiencia educativa (Resolución CFE N° 68/97).

¿Cómo puede el diseño arquitectónico adaptarse para mejorar la infraestructura escolar en Argentina?

Además de la ventilación, la iluminación natural y la reducción de la contaminación acústica son elementos cruciales en el diseño arquitectónico escolar. La iluminación adecuada no solo mejora el ambiente de aprendizaje, sino que también reduce la dependencia de la iluminación artificial, contribuyendo así a la eficiencia energética. Por otro lado, la contaminación acústica puede afectar negativamente la concentración y el bienestar de los estudiantes, requiriendo estrategias efectivas de diseño para mitigar sus efectos (Allen, 2016).

El Código de Edificación de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires constituye un marco normativo crucial para la planificación urbana y la construcción de edificaciones dentro de la ciudad. Este conjunto de regulaciones abarca diversos aspectos, desde el uso del suelo hasta las normativas de seguridad y accesibilidad, afectando directamente el diseño y la construcción de instalaciones educativas como las escuelas.

¿Cuáles son los principales aspectos regulados por el Código de Edificación que influyen en el diseño y construcción de escuelas en Buenos Aires?

En términos de diseño sostenible, el Código de Edificación también incluye disposiciones que fomentan prácticas arquitectónicas responsables, tales como el uso eficiente de los recursos energéticos y la minimización del impacto ambiental. Estas disposiciones están alineadas con tendencias globales hacia edificaciones más ecológicas y resilientes, lo que presenta una oportunidad para integrar soluciones innovadoras en proyectos de renovación y construcción de escuelas en Buenos Aires.

Por otro lado, las normativas internacionales como las establecidas por la ASHRAE y las certificaciones de edificaciones saludables como WELL están influyendo cada vez más en los estándares locales de calidad del aire y confort en interiores. Estas normativas establecen criterios rigurosos para la ventilación y calidad del aire, aspectos fundamentales para asegurar ambientes educativos.

¿Qué impacto tienen estas normativas internacionales en las regulaciones locales y en el diseño de escuelas argentinas?

Metodología para el análisis de casos de estudio

La metodología de análisis de casos de estudio en ventilación proporciona una perspectiva práctica para entender cómo el aire afecta el diseño y funcionamiento de los espacios construidos. Seleccionando casos representativos, se examinan diversos escenarios urbanos y edificaciones con condiciones específicas de ventilación para responder a preguntas sobre su comportamiento ante diferentes climas. Las características clave del viento a considerar son: dirección, frecuencia de direcciones, velocidad, turbulencia y ráfaga. Mientras que dirección, velocidad y frecuencia son cuantificables, la turbulencia y ráfaga se expresan de manera cualitativa o relativa (Fuentes y Rodríguez, 2004).

Las técnicas de diagnóstico son fundamentales para evaluar la performance de un edificio y la percepción de sus usuarios. Se distinguen mediciones físicas y encuestas a ocupantes y encargados del edificio. Los objetivos incluyen obtener un entendimiento básico del rendimiento del edificio, identificar las causas de los problemas y verificar la coincidencia entre la performance real y la predictiva.

[¿Qué factores determinan la discrepancia entre el rendimiento real y el previsto de un edificio en términos de confort y eficiencia energética?](#)

Entre el equipamiento recomendado para el monitoreo se mencionan:

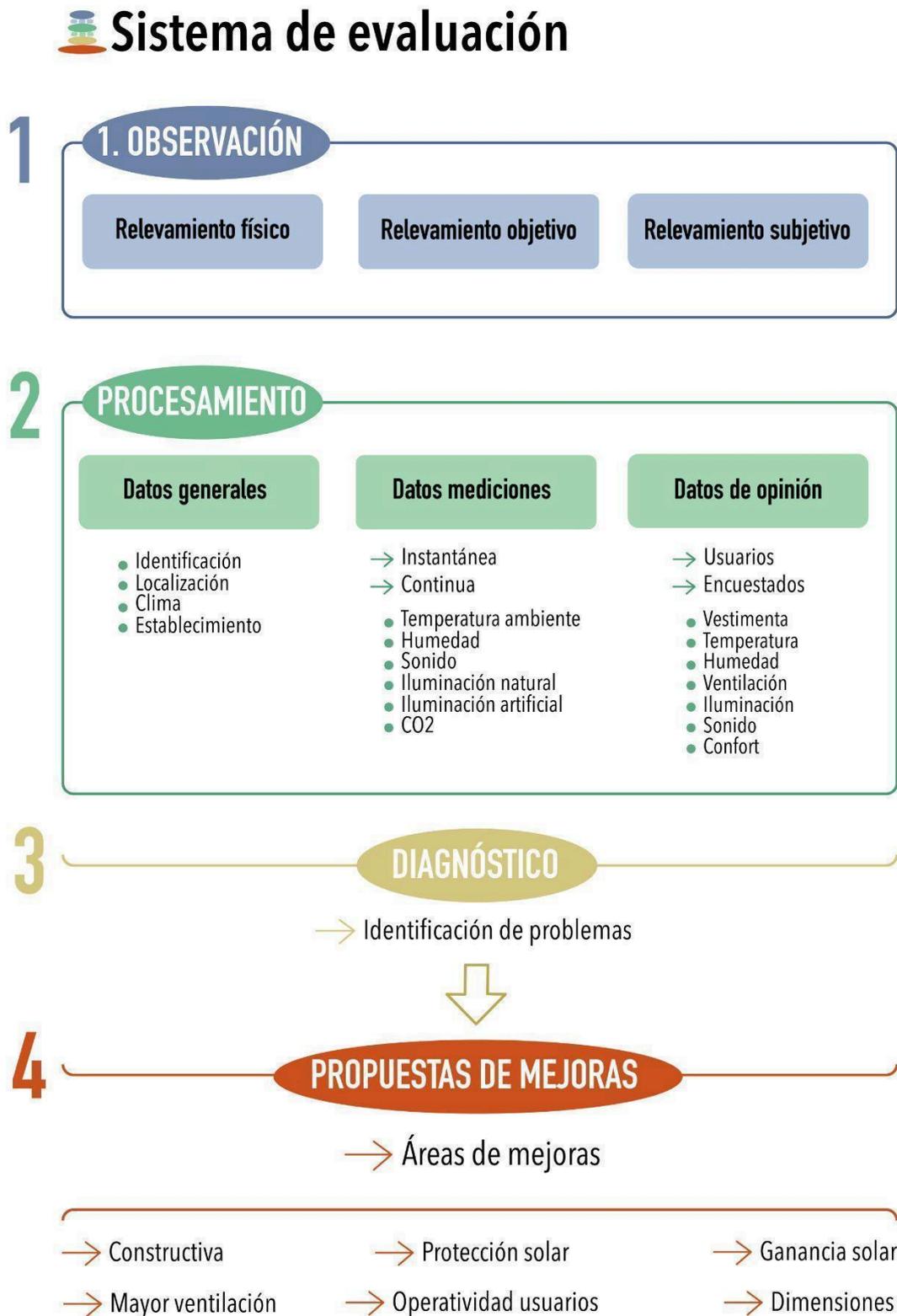
- Sensores de temperatura: Evaluación del confort térmico.
- Mediciones de ventilación: Comprensión de los flujos de aire y eficacia de la ventilación pasiva.
- Mediciones de velocidad del aire: Evaluación de estrategias de enfriamiento pasivo.
- Clima exterior: Información sobre el entorno del edificio.

Además, las encuestas a usuarios proporcionan datos sobre la operación del edificio y la percepción del clima interior (Allard, 1998).

Se propone una metodología en cuatro fases para estudiar la ventilación natural en aulas escolares, buscando obtener información, analizarla y proponer mejoras. (Figura 01)

- Fase 1: Observación. Relevamiento físico del establecimiento y características arquitectónicas del aula.
- Fase 2: Procesamiento. Recopilación de datos sobre condiciones de ventilación y encuestas a usuarios.
- Fase 3: Diagnóstico. Análisis de patrones y tendencias relacionadas con la ventilación natural.
- Fase 4: Propuestas de mejoras. Evaluación de resultados y propuestas para optimizar la ventilación natural.

Figura 01: Esquema del Sistema de evaluación para escuelas.



Elaboración propia

¿Cómo se correlaciona la percepción subjetiva de los usuarios con las mediciones objetivas de calidad del aire y confort térmico?

Como complemento, la observación directa permite evaluar el comportamiento energético y las condiciones generales de un edificio escolar. Se pueden identificar patrones de ventilación y la influencia de la luz solar y la sombra en el ambiente de aprendizaje.

¿Cómo afecta la distribución de ventanas y la orientación del edificio al confort térmico y la calidad del aire en aulas escolares?

El Índice Viral RESET (RVI) es una herramienta que evalúa la probabilidad de transmisión de virus en espacios interiores basándose en la calidad del aire interior y factores como la supervivencia del virus, el impacto de PM2.5 en el sistema inmune, la humedad y la dosis viral potencial. Este índice proporciona una evaluación cuantitativa del riesgo de infección.

¿Qué métodos de evaluación combinados son más efectivos para mejorar la calidad del aire y el confort térmico en edificios educativos?

Casos de Estudio

En Argentina, la Provincia de Buenos Aires lidera en términos de porcentaje de alumnos matriculados, alcanzando un 37 %, seguida por Córdoba (7.9 %), Santa Fe (7.1 %) y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA, 6.3 %). La CABA concentra la mayor cantidad de establecimientos educativos y es una de las cinco localidades argentinas que actualmente registran monitoreo del aire exterior. Es también la ciudad que proporciona más información sobre contaminantes, alberga el mayor parque automotor y ostenta la mayor población del país (Ministerio de Educación de la Nación, 2022). La CABA moviliza alrededor de dos millones de vehículos por día, lo que provoca congestión de tráfico y degrada la calidad del aire (GCBA).

El Plan Urbano Ambiental de la CABA, sancionado en 2008, busca asegurar el acceso a aire, agua y alimentos seguros, y a áreas libres de contaminación. Las zonas más contaminadas coinciden con las de mayor tráfico y ruido, lo que señala al transporte urbano como un factor clave de contaminación (Ley N° 2930/08, 2008). La Norma IRAM 11603 clasifica a la CABA en la Zona IIIb, que presenta una demanda de calefacción moderada y una demanda de refrigeración elevada. Es fundamental implementar medidas de ahorro energético para garantizar el confort interior y la sostenibilidad ambiental. Herramientas como Climate Consultant y el diagrama psicrométrico de Givoni son esenciales para diseñar espacios confortables.

El índice de calidad del aire (AQI) es útil para evaluar la salud del aire. ACUMAR monitorea la calidad del aire en la cuenca Matanza Riachuelo desde 2010, utilizando el AQI para medir contaminantes como PM2.5, SO₂, NO₂, CO, O₃ y CO₂. Aunque la calidad del aire en CABA es generalmente buena, hay periodos con índices moderados (50-100).

Se eligieron tres escuelas de la Universidad de Buenos Aires (UBA) por su prestigio y diversidad: Colegio Nacional Buenos Aires, Escuela Carlos Pellegrini y Escuela Técnica en Villa Lugano. Estas instituciones presentan características y enfoques educativos diversos, permitiendo un análisis más completo. Para el trabajo de campo, se procesaron fotos de interiores y exteriores de los edificios escolares y se midieron temperatura, humedad y CO₂. Colaboraron las tres instituciones para obtener información y realizar mediciones durante una semana lectiva en agosto y septiembre de 2023. Se utilizaron dataloggers y sensores de CO₂ para medir las condiciones. Las encuestas multiple choice sobre confort y uso de equipamiento se realizaron a docentes y alumnos. Los dispositivos HOBO UX100-001 y ADOX fueron esenciales para medir temperatura y CO₂ respectivamente, proporcionando datos precisos para el análisis. (Figura 02)

¿Cómo varían las condiciones interiores de las escuelas de la CABA durante el invierno y cómo afectan el confort y la salud de los estudiantes?

Caso de estudio N°1: Escuela Superior de Comercio Carlos Pellegrini

La ESCCP, fundada en 1890, se ubica en Recoleta y pertenece a la UBA. Sus aulas son espaciosas, con grandes ventanales que permiten la entrada de luz natural. El edificio cuenta con un patio central y áreas de recreación al aire libre, además de espacios culturales como un auditorio.

Se eligió un aula del segundo piso, con orientación Este. Se midieron las dimensiones del aula y se ubicaron sensores de temperatura y CO₂. Los datos se recopilaron a lo largo de una semana y se compararon mediante gráficos.

Caso de estudio N°2: Colegio Nacional de Buenos Aires

El Colegio Nacional de Buenos Aires (CNBA), ubicado en el corazón histórico de la ciudad, ofrece un entorno educativo singular con una arquitectura que combina elementos tradicionales y funcionales. Este colegio preuniversitario público alberga a aproximadamente 2100 estudiantes y está diseñado con un enfoque en la ventilación natural, utilizando patios internos y ventanas estratégicamente posicionadas para optimizar el flujo de aire dentro de las aulas.

Las aulas del CNBA están diseñadas para promover un entorno de aprendizaje cómodo, con colores claros y distribución espacial que favorece la ventilación cruzada. Sin embargo, la capacidad actual de alumnos supera la capacidad original prevista, lo que puede afectar la calidad del aire y el confort térmico. Para evaluar las condiciones ambientales, se seleccionó un aula en el CNBA con orientación hacia el Norte, lo que permite una exposición moderada a la radiación solar directa. Las mediciones incluyeron niveles de CO₂, temperatura y humedad, junto con observaciones sobre la ventilación natural y el uso de sistemas de calefacción y refrigeración.

Caso de estudio N°3: Escuela Técnica en Villa Lugano

La Escuela Técnica en Villa Lugano, perteneciente a la Universidad de Buenos Aires, se destaca por su enfoque en la mecatrónica y las tecnologías de la información. Este establecimiento educativo integra prácticas innovadoras de enseñanza con un diseño arquitectónico que favorece la ventilación y la iluminación natural.

El diseño del edificio de la Escuela Técnica en Villa Lugano incluye un esquema tipo peine con patios internos y aulas dispuestas para facilitar la ventilación cruzada. A pesar de las instalaciones modernas, se identificaron problemas con el sistema de aire acondicionado central, lo que plantea interrogantes sobre la eficacia de las soluciones técnicas implementadas.

Se realizó un análisis en un aula taller, evaluando CO_2 , temperatura y humedad. Además, se compararon estas mediciones con otras aulas dentro del mismo bloque para entender las variaciones internas y externas.

Figura 02: Ejemplo de set: Caso de estudio N°1. Izq.: Ubicación dentro del aula: cartel de aviso y participación para usuarios (A), sensor de humedad (B), sensor de CO_2 (C), sensor de temperatura (D). Der.: Ubicación de sensor de temperatura exterior, en ventana de preceptoría orientada Sur.



Elaboración propia

Diagnóstico General sobre los Casos de Estudio

Como parte integral de la metodología empleada, se evalúan los resultados obtenidos en cada caso, abordando la ventilación, eficiencia energética y confort. Este diagnóstico busca identificar patrones, áreas de mejora y estrategias potenciales para optimizar las condiciones en las aulas escolares y crear un entorno más propicio para el aprendizaje.

Condiciones Generales (Fase 1: Observación)

Se detallan las condiciones físicas de las aulas en cada establecimiento, incluyendo dimensiones, capacidad, altura interior y materiales de construcción. Estos aspectos son fundamentales para entender el entorno físico en el que se desarrolla el estudio. Se presentan datos específicos sobre las dimensiones y características físicas de cada caso estudiado, comparando con las normativas existentes y evaluando su adecuación. También se examinan las condiciones de iluminación y ventilación en cada aula. (Tabla 01)

Tabla 01: condiciones de iluminación y ventilación para cada caso de estudio

	Superficie	Iluminación			Ventilación		
	(m ²)	Coef	Minima	Real	Coef	Minima	Real
Caso 1	42.92	1/12	3.58	11.90	1/3	1.19	2.64
Caso 2	38.62	1/12	3.22	15.39	1/3	1.07	11.72
Caso 3	47.95	1/12	4.00	16.74	1/3	1.33	8.30

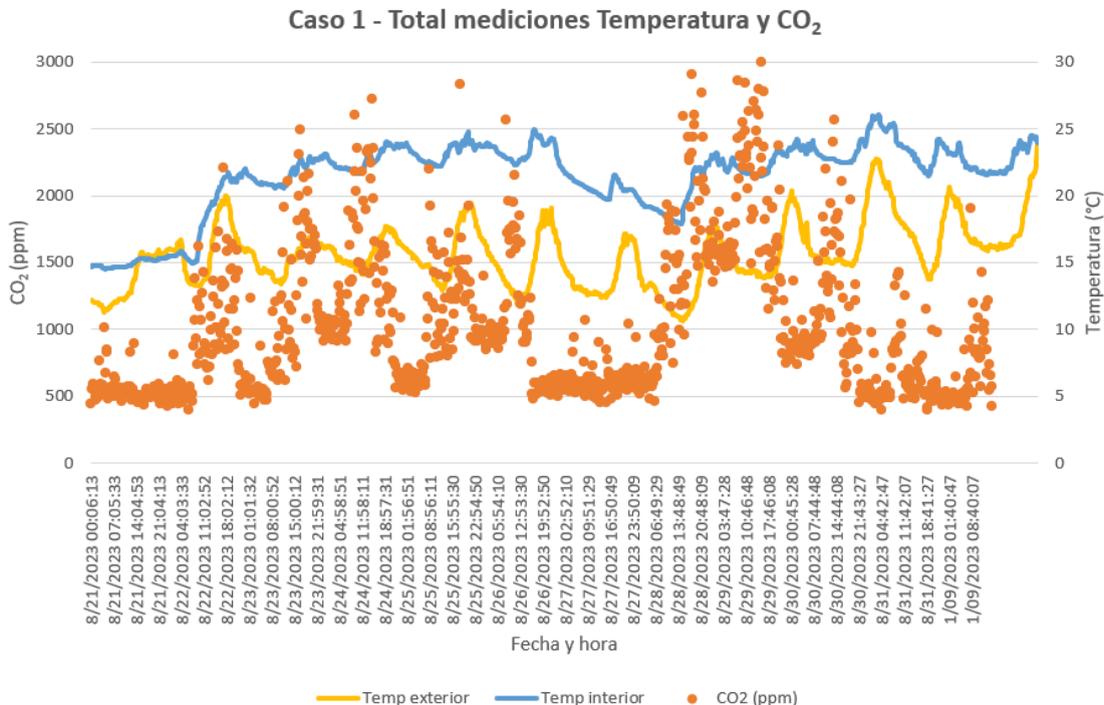
Elaboración propia

Temperatura, Humedad y Concentración de CO₂ (Fase 2: Procesamiento)

Se presentan los resultados detallados de las mediciones de temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂ en cada caso estudiado, analizando patrones y fluctuaciones a lo largo del tiempo. Como resumen se exponen dos gráficos realizados para el Caso 1 y el Caso 3, antagónicos. (Figura 03 y 04)

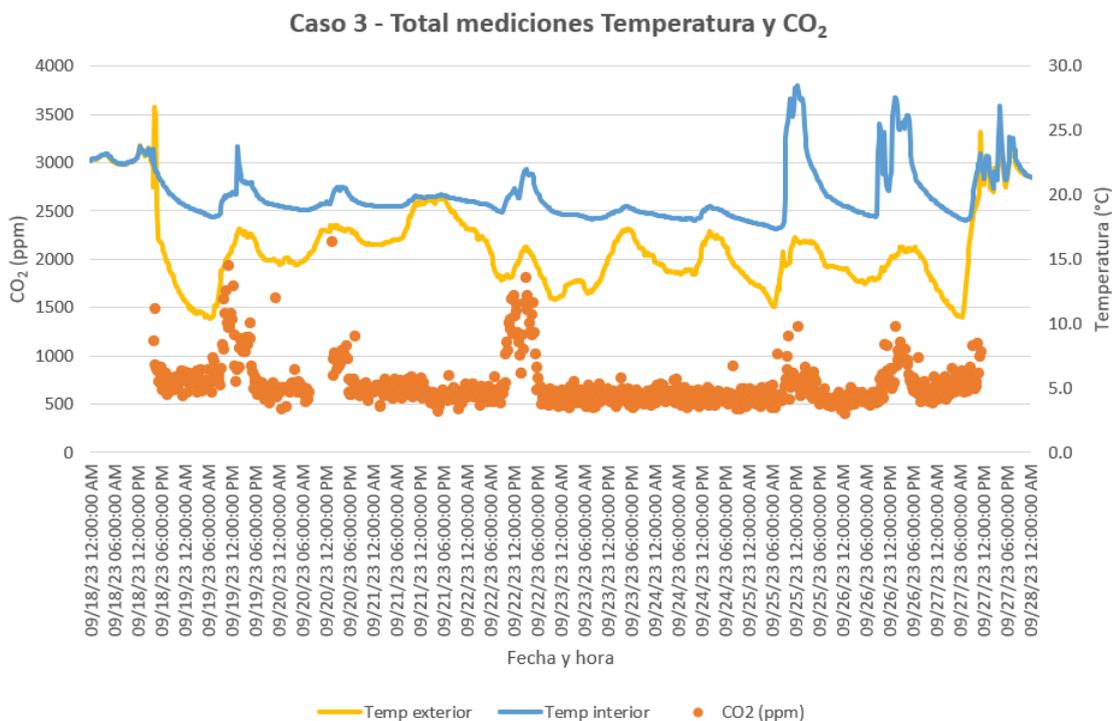
¿Cuáles son los niveles aceptables de CO₂ en entornos educativos y cómo se comparan con los resultados obtenidos?

Figura 03: Mediciones de CO₂, temperatura exterior e interior obtenidas para el Caso de Estudio 1.



Elaboración propia

Figura 04: Mediciones de CO₂, temperatura exterior e interior obtenidas para el Caso de Estudio 3.



Elaboración propia

Percepción del Usuario (Fase 2: Procesamiento)

Se analizan las respuestas de encuestas realizadas a usuarios de las aulas, destacando percepciones y comentarios sobre el confort térmico, calidad del aire, iluminación y ruido ambiental.

¿Cómo pueden estas percepciones guiar la mejora de las políticas de diseño y mantenimiento escolar?

Evaluación de Resultados (Fase 3: Diagnóstico)

Se realiza una evaluación crítica de los resultados obtenidos, destacando las áreas problemáticas identificadas y proponiendo recomendaciones para mejorar las condiciones ambientales en las aulas estudiadas.

En términos de iluminación y ventilación, las tres escuelas superan los requisitos del Código de Edificación. Sin embargo, los niveles de dióxido de carbono (CO₂) registrados están por encima de los valores recomendados, indicando problemas de ventilación.

En los casos 1 y 2, se observan niveles de CO₂ constantemente superiores a 700 ppm, excediendo los límites aceptables. En el Caso 1, aproximadamente el 90% del tiempo de clase presenta concentraciones elevadas de CO₂, y el 40% de las mediciones superan los 1000 ppm. Un ejemplo crítico es el 29 de agosto, cuando la concentración media alcanzó 1900 ppm, con cuartiles entre 1500 y 2250 ppm. Estos niveles son muy superiores a los recomendados, indicando un ambiente desfavorable para actividades prolongadas.

La tendencia semanal en estos casos es particularmente preocupante, ya que se observan picos de CO₂ los miércoles y jueves. Incluso después del horario escolar, las concentraciones no regresan a niveles aceptables, sugiriendo acumulación de CO₂ a lo largo de la semana y una ventilación insuficiente. Algunos registros superan las 2500 ppm, señalando una calidad de aire interior muy deficiente y un alto riesgo de propagación de virus, lo que afecta negativamente la salud y el bienestar de los ocupantes.

En cuanto a la temperatura interior, en el Caso 1 se mantiene entre 20°C y 24°C durante los días de uso, alcanzando los 25°C en algunos momentos. El 22 de agosto, un feriado, muestra que la presencia de personas contribuye significativamente al aumento de temperatura interior. En el Caso 2, la temperatura se mantiene en un rango confortable, entre 19°C y 21°C, incluso durante días con fuertes caídas de temperatura exterior, lo que sugiere un mejor control térmico comparado con el Caso 1.

La humedad relativa en el Caso 2 promedia alrededor del 50%, con picos en días de lluvia, como el 7 y el 11 de septiembre. Estos valores concuerdan con las lecturas meteorológicas y afectan el confort de los estudiantes. En el Caso 3, se observa una humedad relativa más elevada, con un promedio del 57% y una amplitud significativa entre 35% y 86%. Los usuarios indican mayor confort

en verano pero frío en invierno, relacionando esto con la estructura del aula y la operatividad del sistema de calefacción.

En cuanto a la percepción de los usuarios, el Caso 1 no refleja representativamente la situación debido a la limitada cantidad de respuestas. En el Caso 2, el 60% de los estudiantes siente calor en primavera y otoño, y el 46% en invierno, sugiriendo que las condiciones térmicas pueden ser un desafío en ciertas estaciones. Además, el 54% de los estudiantes siente frío en invierno, indicando que la calefacción podría ser insuficiente. La mayoría percibe polvo, olores o contaminación, y solo un pequeño porcentaje considera que el aire es fresco. La iluminación también genera opiniones divididas, indicando una falta de equilibrio entre la iluminación natural y artificial en el aula.

En contraste, el Caso 3 presenta condiciones aceptables de concentración de CO₂ la mayor parte del tiempo, con mediciones por debajo del máximo recomendado. Aunque dos días se acercaron a los 1500 ppm, rápidamente regresaron a valores normales (400-500 ppm), favorecidos por la ventilación cruzada. La temperatura interna del Caso 3 oscila entre 18°C y 21°C, con picos durante el mediodía y la tarde debido a clases técnicas y radiación solar directa.

En términos de la percepción del aire, la mayoría de los encuestados en el Caso 3 indica que perciben aire viciado, con ocasionales olores tóxicos de máquinas. La iluminación es generalmente adecuada, aunque se reporta exceso de luz natural, sugiriendo la necesidad de bloquear la radiación directa.

El Índice Viral RESET (RVI) se utiliza para comparar las diversas consideraciones de variables en los tres casos de estudio. La mediana de CO₂ para los Casos 1 y 2 resulta en un índice "justo", mientras que para el Caso 3 es "bueno". Sin embargo, al considerar los valores del cuartil 3, que corresponden a concentraciones más altas, el RVI indica que los primeros dos casos son "insatisfactorios" y el tercero "necesita mejorar". El primer cuartil, con concentraciones bajas, arroja índices "excelentes". Estos resultados sugieren la necesidad de aumentar la ventilación y renovación del aire, especialmente en los Casos 1 y 2, para reducir la propagación de virus. (Tabla 02)

En cuanto al aspecto acústico, se destaca que el ruido dentro del aula es percibido como elevado, lo que puede dificultar la concentración y el proceso de enseñanza-aprendizaje. Las opiniones están divididas respecto a los ruidos exteriores, lo que sugiere la necesidad de evaluar la acústica en el entorno escolar para crear un ambiente propicio para el aprendizaje. La tipología de patio con aulas alrededor es beneficiosa para apaciguar los ruidos de vehículos cercanos.

Tabla 02: Valores obtenidos para el cálculo del Índice Viral RESET (RVI).

	Humedad Relativa (HR)			Particulado PM2.5			Conc. CO2 (CO2)			Riesgo pot. (PVDr)		
	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min
Caso 1	44	s/d	s/d	17	65	4	886	1354	570	0.428	0.840	0.150
Caso 2	53	68	40				945	1330	721	0.480	0.818	0.282
Caso 3	57	86	35				634	742	570	0.206	0.301	0.150

	Resist. al virus (VS)			Salud S.I. (ISRH)			Salud S.I. (ISPM)			RVI		
	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Cuartil2	Cuartil3	Cuartil1
Caso 1	0.785	s/d	s/d	0.960	s/d	s/d	1.038	1.146	1	63.70%	21.33%	99.93%
Caso 2	0.737	0.799	0.823	1.000	0.895	0.800				63.31%	24.16%	99.90%
Caso 3	0.731	0.999	0.885	1.000	0.598	0.700				84.38%	47.81%	98.82%

Elaboración propia

Potenciales mejoras (fase 4 Mejoras)

¿Qué estrategias específicas pueden implementarse para mejorar la ventilación y reducir los niveles de CO₂ en las aulas?

La ventilación natural es crucial para asegurar la calidad del aire interior en las aulas, y se han identificado áreas donde pueden implementarse mejoras significativas, organizadas en tres áreas generales.

La primera área se centra en el dimensionado de la superficie de aberturas para optimizar las condiciones de ventilación natural. La instalación de ventanas a diferentes alturas y con distintos tipos de apertura podría permitir una ventilación selectiva según la hora del día y la estación del año, especialmente en el Caso 1. Esta configuración optimizaría la entrada de aire fresco y su distribución en el espacio.

Otra área de mejora es la integración de sistemas de control inteligente para regular eficientemente la temperatura y la iluminación, adaptándose a la ocupación y las condiciones climáticas. Un ejemplo es el proyecto implementado por la Escuela en Lugano, que utiliza protecciones solares móviles mediante paños de blackout para abordar necesidades específicas de protección solar.

Además, se proponen mejoras en el diseño, como mejorar el aislamiento térmico de las aulas para reducir la necesidad de calefacción en invierno y refrigeración en verano. Esto incluye la instalación de aislamiento en techos, paredes y pisos, así como la reparación de posibles infiltraciones de aire por los marcos de las ventanas. La incorporación de elementos de protección solar también sería beneficiosa en los tres casos estudiados.

La participación activa de los usuarios se identifica como tercera área de mejora. Se observó que en el Caso 1 la falta de capacidad para controlar directamente las ventanas limitaba la ventilación según las preferencias y

necesidades individuales. La colaboración entre estudiantes, docentes, personal de mantenimiento y autoridades escolares es crucial para implementar estas mejoras de manera efectiva.

La implementación de sensores de CO₂ en tiempo real con alarmas audibles puede aumentar la conciencia sobre la importancia de mantener bajos niveles de CO₂, aunque es esencial educar a los usuarios sobre cómo responder adecuadamente a estas alarmas para priorizar la ventilación.

Conclusiones

A lo largo del estudio, se exploraron los entornos educativos y cómo la calidad del aire se ha convertido en un factor crucial en el bienestar de estudiantes y docentes. La pandemia ha impulsado una mayor conciencia sobre la importancia de crear entornos saludables y seguros en las escuelas.

Al analizar los casos de estudio, se identificaron conclusiones que arrojan luz sobre patrones y tendencias observados en los datos recopilados. Cada caso estudiado presenta desafíos únicos que requieren soluciones adaptadas a sus necesidades específicas, destacando la importancia de considerar tanto las condiciones físicas como la percepción de los usuarios para mejorar las condiciones de los entornos educativos.

La pandemia del COVID-19 ha dejado una huella profunda en el mundo de la educación, impactando significativamente el aprendizaje de los estudiantes en un escenario global de cierre prolongado de escuelas que varió desde tres meses en algunos lugares hasta más de un año en otros. Los modelos educativos híbridos, que combinan la educación presencial con la distancia y la enseñanza en línea, también han generado efectos adversos tanto en el aprendizaje como en el bienestar socioemocional de los alumnos.

La crisis generada por la pandemia invita a reflexionar sobre lo que las escuelas deberían ser en el futuro. No se trata simplemente de volver a las prácticas anteriores, ni depender exclusivamente de soluciones tecnológicas impulsadas por empresas privadas. Es esencial reconsiderar la educación como un bien público al servicio de la ciudadanía. Otra lección importante que se extrae de esta crisis global es que la educación ya no puede concebirse únicamente a nivel nacional en una era de interconexión global. La pandemia ha recordado que se debe trabajar hacia un futuro más sostenible. La crisis del COVID-19 es un preludio de crisis aún más grandes, como la crisis ecológica.

¿Cómo pueden adaptarse las políticas educativas para mejorar las condiciones de la infraestructura escolar?

La creación de espacios educativos innovadores implica una relación dinámica entre los usuarios y su entorno. La conciencia de usuario es fundamental para maximizar el potencial de estos espacios. Los estudiantes deben sentirse empoderados para explorar y adaptar los entornos según sus necesidades y estilos de aprendizaje. La flexibilidad en el diseño y la disposición de múltiples

zonas de aprendizaje fomentan la independencia y la responsabilidad en el proceso educativo.

La reorganización espacial en la educación trasciende la mera disposición de aulas. Es un proceso holístico que abarca la integración de tecnología, la colaboración entre disciplinas y la conexión con la comunidad. La infraestructura educativa del futuro debe ser adaptable y resiliente, capaz de afrontar los desafíos cambiantes de la educación. Al considerar la ventilación, sustentabilidad, iluminación, confort y la conciencia de usuario en el diseño de espacios educativos, estamos sentando las bases para una educación transformadora y sostenible en el siglo XXI.

Bibliografía

Allard, F. (editor) (1998). *Natural ventilation in buildings. A design handbook*. James & James, Londres.

Allen, J. G., Mac Naughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 805–812.

Barrett, P.; Treves, A.; Schmis, T.; Ambasz, D.; Ustinova, M. (2019). The impact of school infrastructure on learning: a synthesis of evidence. *International Development in Focus*. Washington, DC: World Bank.

Cisterna, M. S. y Tadeo Abate, S. (2021). Iluminación natural en aulas prototípicas y adaptación a los requerimientos postpandemia. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*.

Colegio Nacional de Buenos Aires. (s.f.). Historia del colegio. En <https://www.cnba.uba.ar/colegio/historia-del-colegio>

Comisión Internacional sobre los Futuros de la Educación. (2020). *La educación en un mundo tras la COVID: nueve ideas para la acción pública*. París, UNESCO.

Di Gilio, A., Palmisani, J., Pulimeno, M., Cerino, F., Cacace, M., Miani, A., de Gennaro, G. (2021). CO2 concentration monitoring inside educational buildings as a strategic tool to reduce the risk of Sars-CoV-2 airborne transmission. *Environmental Research*, V202.

Escuela Superior de Comercio Carlos Pellegrini. (21 ago 2023). En *Wikipedia*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Escuela_Superior_de_Comercio_Carlos_Pellegrini&oldid=153215673

Fuentes Freixanet, V. A. y Rodríguez Viqueira, M. R. (2004). Ventilación Natural, Cálculos Básicos para Arquitectura, *Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México*.

IRAM (1996). Norma IRAM 11.603:1996, *Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentina de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

Ministerio de Cultura y Educación de la Nación (1998). *Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar*. Dirección de Infraestructura Escolar.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte (2019). *Código de Edificación*. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires

MINSAL, MINCYT, Ministerio de Educación. (2021). *Guía para las instituciones educativas. Condiciones y recomendaciones para habitar la escuela*. Consejo Federal de Educación.

Organización de las Naciones Unidas. (2015). Resolución A/RES/70/1 Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>

San Juan, G.; Hoses, S.; Martini, I. (2014). Aprendizajes en las escuelas del siglo XXI: nota 5. Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares. *BID, División de Educación*.

UNESCO (2020). COVID-19 education response: Preparing the reopening of schools: resource paper. Paris.

Wallis, R., Green, A., Nigudkar, B., Xi, S., & Wong, S. (2022). *RESET Viral Index v1.1 - FINAL* (Whitepaper). En <https://reset.build/resources/indexes/viral>