



Análisis bioclimático de tres edificios diseñados por Gilberto Gatto Sobral. Caso de estudio Universidad Central del Ecuador

Bioclimatic analysis of three buildings by Gilberto Gatto Sobral. Study case Universidad Central del Ecuador

URSULA FREIRE CASTRO

Universidad Central del Ecuador, Ecuador
uafreire@uce.edu.ec

RESUMEN Se hizo una evaluación de la calidad bioclimática de tres edificios del arquitecto Gilberto Gatto Sobral en la Universidad Central del Ecuador con dos objetivos: encontrar evidencia sobre posibles problemas en los espacios que podrían afectar la salud y productividad de sus usuarios, y determinar si el clima tuvo un papel significativo en el diseño de estos edificios. Los edificios eran dos facultades: Jurisprudencia y Economía, y la Administración General. La calidad bioclimática se estableció a través de la comparación de los niveles existentes de temperatura, humedad relativa y luz natural contra estándares de confort y el clima local. Los datos fueron medidos en muestras de espacios usando *data-loggers*. Se concluyó que todos los edificios tienen espacios fuera del confort siendo demasiado fríos y oscuros; y el clima tuvo un rol menor debido a que se ignoró el comportamiento térmico de los materiales y el movimiento aparente del sol, pero se intentó controlar la luz natural.

ABSTRACT The bioclimatic quality of three buildings by architect Gilberto Gatto Sobral at Universidad Central del Ecuador was evaluated with two objectives: to find problems that might affect users' health and productivity, and to establish if climate had a significant role in the design of these buildings. The buildings included two faculties: Law and Economics, and the General Administration. Bioclimatic quality was established by comparing existing levels of temperature, relative humidity, and natural light against comfort standards and the local climate. Data were measured over two years in space samples using data loggers. It was concluded that all buildings have spaces outside of comfort being too cold and dark; and climate played a minor role because despite attempts to control natural light, the thermal behavior of materials and the sun's apparent movement were ignored.

Received: 08/02/2024
Revised: 01/06/2024
Accepted: 13/06/2024
Published: 31/07/2024

PALABRAS CLAVE arquitectura moderna, educación, *data-loggers*, frío, clima

KEYWORDS modern architecture, education, data loggers, coldness, climate



Cómo citar este artículo/How to cite this article: Freire Castro, U. (2024). Análisis bioclimático de tres edificios diseñados por Gilberto Gatto Sobral. Caso de estudio Universidad Central del Ecuador. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 13(26), 95-108. <https://doi.org/10.18537/est.v013.n026.a06>

1. Introducción

Los edificios influyen la salud y bienestar de las personas de varias maneras; primero con su ambiente interior, siendo fríos, calientes, húmedos, oscuros, iluminados, ruidosos o tranquilos; después, con la calidad de su aire, que puede ser fresco, viciado, o estar contaminado con hongos, mohos o productos nocivos; luego, con sus materiales, naturales o artificiales; incluso con la vivencia positiva o negativa que generan, pudiendo ser agradables o inhumanos, debido a su forma, escala, privacidad, vistas bonitas, o presencia de jardines. Hoy en día, los efectos de los edificios sobre la salud son considerados por subdisciplinas especializadas de la arquitectura, como la bioclimática, que se enfoca en el ambiente interior y parte del estudio de los elementos climáticos de un lugar y como moderar sus impactos sobre la gente.

El efecto de los edificios sobre la salud es un tema serio en cualquier tipo de edificio debido a la alta cantidad de tiempo que las personas pasan en interiores, pero, es particularmente importante en edificios educativos que demandan atención y concentración. Los mayores esfuerzos físicos y mentales de docentes y alumnos ocurren en las aulas (Gonzalo, et al., 2010). Así que cuando un edificio educativo genera ambientes interiores incómodos para sus usuarios, afecta su productividad y capacidad para aprender.

En 2019, la Universidad Central del Ecuador (UCE) aprobó una investigación sobre su campus principal con dos objetivos, primero, encontrar evidencia de posibles problemas concernientes a su calidad bioclimática; y segundo, entender el rol que tuvo el clima en el proceso de diseño del campus. Para cumplir el primer objetivo, se tomaron mediciones de temperatura, humedad relativa y luz natural en una muestra de seis edificios, estos edificios fueron escogidos porque eran comunes las quejas informales entre sus usuarios sobre problemas de índole bioclimática como tener ambientes demasiado fríos durante el día, además de observarse el uso frecuente de aparatos de acondicionamiento artificial como calefactores eléctricos. El hecho de que el clima de Quito, la ciudad ecuatorial en donde está ubicado el campus UCE (0°12' S latitud, 78°30' O longitud, 2850 metros sobre el nivel del mar), sea a lo largo del año en general confortable durante el día, y sean sus noches y madrugadas las frías, insinuaba que los edificios del campus eran los que podían estar comportándose de manera inadecuada, bajando las temperaturas por debajo del confort durante el día. Para cumplir el segundo objetivo, se escogieron edificios pertenecientes a tres diferentes periodos arquitectónicos (moderno, posmoderno, y ecléctico) para ser estudiados mediante un análisis comparativo.

Dentro de la región, en la Argentina, hay una interesante cantidad de estudios cualitativos y cuantitativos sobre la calidad bioclimática de edificios escolares existentes. La Universidad de Tucumán, por ejemplo, realizó un diagnóstico de la situación ambiental de los edificios de su campus con énfasis en aulas tipo, para proponer remodelaciones o cambios de uso que corrijan

problemas detectados. En su Facultad de Arquitectura se midieron parámetros como la temperatura, asoleamiento y luz natural del aula tipo de clases teóricas (Gonzalo, et al., 2010) y la luz natural y artificial del aula tipo taller (Márquez Vega, et al., 2021), la verificación de las propuestas de mejoramiento se hizo mediante cálculos, y simulaciones físicas y por computadora. La Universidad de La Plata hizo algo similar en su Facultad de Arquitectura, midiendo la iluminación natural y artificial, temperatura, y humedad relativa del aula tipo taller, concentrándose en desarrollar una metodología para la evaluación de la calidad bioclimática de aulas de grandes dimensiones (San Juan, et al., 2003). En los tres casos se utilizaron *data-loggers* y luxómetros para realizar las mediciones y luego compararlas contra los estándares de la normativa del Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM y/o la Normativa Básica de Arquitectura Escolar. En el Ecuador, aunque son reducidos, ya hay estudios sobre la calidad bioclimática de edificios existentes, algunos toman medidas de temperatura en el sitio de forma manual en ciertas horas, para compararlas contra encuestas sobre el confort percibido por usuarios (Fernández Mendoza et al., 2023), otros evalúan la calidad bioclimática de un edificio mediante simulaciones por computadora, simulando la ventilación con Computational Fluid Dynamics CFD o el confort térmico con Energy Plus (Cepeda y Morales, 2018). La presente investigación contribuye en términos de metodología, al utilizar *data-loggers* de precisión para recolectar datos reales en el sitio de forma automática, sin la presencia de gente, para compararlos contra estándares de confort y determinar la calidad bioclimática sin realizar propuestas de remodelación o corrección; y en lugar de concentrarse solo en el aula, seleccionó espacios representativos en cada edificio para lograr hacer un primer diagnóstico general.

Los tres edificios pertenecientes al período de arquitectura moderna que se estudiaron en esta investigación, Administración General y las Facultades de Economía y Jurisprudencia, fueron diseñados por el arquitecto uruguayo Gilberto Gatto Sobral. En el Ecuador, hay un creciente interés por estudiar la arquitectura moderna que se produjo en el país durante el siglo XX, con muchas investigaciones históricas, de archivo o documentales, o estudios de tipologías, arquitectos u obras particulares. Gilberto Gatto Sobral es estudiado por su influencia en el desarrollo de la ciudad moderna en ciudades ecuatorianas como Quito (Villagomez, et al., 2020) y Cuenca (Rivera Muñoz, 2020), o por su influencia sobre otros arquitectos modernos ecuatorianos (Vallejo Guayasamín, 2020), o por su obra, específicamente por sus edificios educativos (Villagomez, et al., 2020) o su forma de usar el hormigón (Bonilla, et al., 2020).

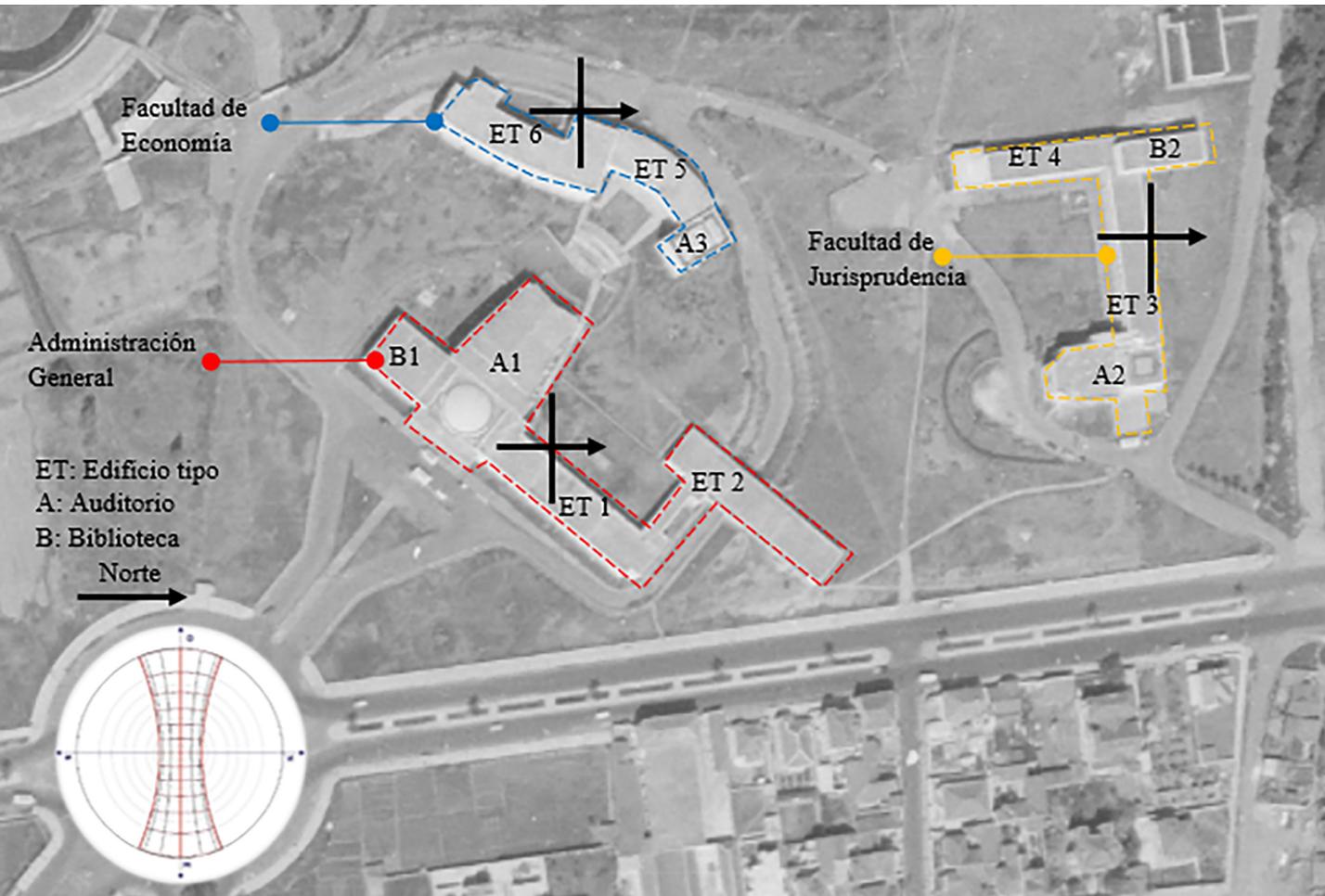
Estos estudios hablan de forma positiva de Gatto Sobral, elogiando la adaptación de sus edificios al paisaje y topografía de Quito (Villagomez, et al., 2020), reconociendo sus esfuerzos por enriquecer el lenguaje moderno internacional de sus edificios con la

introducción de detalles artesanales locales (Vallejo Guayasamín, 2020), y destacando sus edificios educativos, por ser los primeros en aplicar los principios de arquitectura moderna en educación en el Ecuador (Villagomez, et al, 2020), siendo "articulados, ligeros, flexibles, funcionales y luminosos" gracias a la utilización de "formas lineales, extensivas y abiertas" basadas en "principios higienistas y funcionalistas" (Villagomez, et al, 2020, p. 55).

La presente investigación contribuye al estudio de la arquitectura moderna desde un punto de vista nuevo, porque Gilberto Gatto Sobral es poco entendido en términos de la calidad bioclimática de sus proyectos, lo que a su vez permitirá entender mejor el comportamiento bioclimático de edificios educativos diseñados bajo los principios de arquitectura moderna en el Ecuador. Así, se comienza estudiando una de las mayores obras educativas de Gatto Sobral, el campus UCE, del cual hizo el plan general cerca de 1945, distribuyendo 24 edificios en una colina ubicada entre el antiguo Centro Colonial y los nuevos barrios modernos del norte de Quito. Este campus era una parte importante del Plan de Desarrollo Urbano concebido inicialmente para la guiar la expansión del Quito moderno. Para 1959, Gatto Sobral ya había construido los edificios de Administración General y las Facultades de Jurisprudencia y Economía, utilizando arquitectura moderna en lugar de la arquitectura tradicional que predominaba en Quito a inicios del siglo XX (Villagómez, et. al, 2020), lo que significó que:

- En lugar de utilizar edificios que miraban hacia un patio interno, utilizó edificios alargados y esbeltos que miraban hacia el paisaje exterior.
- En lugar de utilizar paredes portantes de ladrillo con cubiertas inclinadas de madera y teja, utilizó estructura de hormigón armado, vidrio y cubiertas planas.
- En lugar de ventanas pequeñas con o sin balcón, utilizó grandes ventanales horizontales con corta-soles o *brise-soleil*.
- En lugar de utilizar fachadas ornamentadas con principios neoclásicos y simetría, utilizó fachadas basadas en principios funcionalistas.

Figura 1: Fotografía aérea del Campus de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Instituto Geográfico Militar (1959)



Con estos parámetros, Gatto Sobral creó básicamente el mismo tipo de edificio, pero usándolo en diferentes combinaciones. El edificio tipo era de hormigón, ladrillo y vidrio, con forma alargada y esbelta, de dos o tres pisos de altura, con oficinas y/o aulas distribuidas linealmente a todo lo largo en uno de sus lados y un corredor abierto pero cubierto en el otro. Para las combinaciones (Figura 1):

- En Economía se conectaron linealmente dos edificios tipo uniéndolos con un salón abierto con pilotes y escaleras escultóricas helicoidales.
- En Administración General se conectaron linealmente dos edificios tipo uniéndolos con una arquería/corredor cubierto.
- En Jurisprudencia se formó una L con dos edificios tipo.

Las combinaciones de los tres casos fueron rematadas por un auditorio y/o una biblioteca en alguno de los extremos o vértices.

2. Métodos

La calidad bioclimática fue establecida mediante un análisis comparativo de los niveles existentes de temperatura, humedad relativa, y luz natural medidos en los edificios, frente a estándares o índices aceptados de confort, el clima local según estaciones meteorológicas oficiales y el movimiento solar aparente de Quito. Se midieron espacios representativos en cada edificio usando *data-loggers* durante periodos de tiempo representativos. Las mediciones y el análisis comparativo se enfocaron en los edificios como un todo.

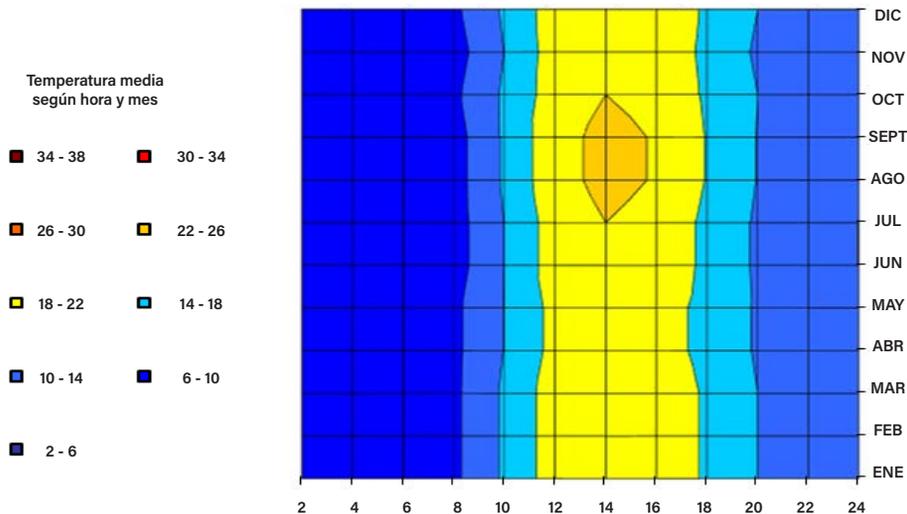
Todos los edificios fueron medidos sin la presencia de gente para tener valores que reflejen el comportamiento "puro" de los edificios frente al clima de Quito. Se utilizaron en total doce *data-loggers*, diez del tipo HOBO® U12-012 para medir la temperatura en grados Celsius °C, la humedad relativa en porcentaje, y la luz natural en Luxes, y dos del tipo HOBO® MX1102 para medir la temperatura en grados Celsius °C, y la humedad relativa en porcentaje.

Cuando un edificio iba a ser medido, se escogían doce espacios representativos para colocar los doce *data-loggers* y recopilar información. Luego del periodo de medición, se recogían los *data-loggers*, se descargaba la información y volvían a ser colocados en otro set de doce nuevos espacios, y el proceso era repetido según se necesitara.

Los sets de espacios formaban una muestra representativa del edificio, ya que se los escogía según características similares para luego hacer un análisis comparativo entre ellos y aplicar los resultados al resto del edificio. Estos espacios podían tener funciones similares como aulas u oficinas, o, podían estar ubicados en una posición similar del edificio, pero en diferentes pisos (último, medio y primer piso), o podían estar en el mismo piso, pero en diferentes posiciones (extremos, centro).

Los periodos de medición se definieron en siete días. No es necesario tomar mediciones durante todo el año en este tipo de investigaciones, ya que se pueden tomar muestras por periodos cortos y aplicarlos al resto del año. Por ejemplo, la Universidad de la Plata ubicada a 35 grados de Latitud Sur, determinó un periodo de medición de siete días en el mes de julio, es decir

Figura 2: Isotherma realizada con software e-Clim utilizando datos tomados de la estación meteorológica M0024 QUITO INAMHI-INNAQUITO Evans y Delbene (2004), INAMHI (1990-2012)



durante su estación mas fría (San Juan, et al, 2003). En el caso de Quito, es posible tomar las muestras en cualquier momento del año debido a su latitud ecuatorial con clima diario y no estacional. Quito tiene básicamente el mismo clima a lo largo de todo el año, con noches y madrugadas frías, mañanas confortables, un medio día más cálido y tardes confortables a frías como se observa en la Figura 2. Los análisis de las mediciones de siete días de los *data-loggers* podían aplicarse al resto del año considerando dos aspectos: primero, el ángulo del sol en los solsticios y equinoccios (el sol viaja inclinado 66,5 grados desde el suelo al norte en junio y al sur en diciembre, cerca de marzo y septiembre se inclina 90 grados desde el suelo al medio día), y segundo, la mayor o menor cantidad de lluvia que hay en ciertos meses.

Las semanas de medición de las facultades de Economía y Jurisprudencia ocurrieron en noviembre, la de Administración General en octubre debido a razones de logística y oportunidad, las mediciones ocurrieron entre el solsticio de diciembre y el equinoccio de septiembre.

La temperatura de Quito varía de 7 a 23°C, su humedad relativa de 40% a 94%, y la lluvia de 20 a 160 mm según un promedio de 13 años de datos meteorológicos tomados en la estación más cercana a UCE (Quito-Inamhi-Quito 00°13´S latitud, 78°32´W longitud, 2879 metros sobre el nivel del mar) (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI, 1990-2012).

Estos datos indican que un edificio en Quito:

- Necesita aumentar la temperatura mediante ingreso de radiación solar en las mañanas desde las 6h00 a las 11h00 cuando la temperatura solo llega a los 13 y 17°C y en las tardes entre las 17h00 y 20h00 cuando la temperatura baja a 8 y 14°C.
- Necesita crear sombra y/o evitar sobre-soleamiento y sobre-calentamiento desde las 12h00 hasta las 16h00 cuando las temperaturas alcanzan los 22 a 23°C.
- Necesita evitar la pérdida del calor acumulado en las noches cuando la temperatura baja a 7 y 11°C entre las 22h00 y 4h00.
- Necesita sombra para espacios exteriores entre 10h00 y 16h00 no solo para evitar sobre-soleamiento y sobre-calentamiento, sino para

proteger a la gente de sobre-exposición a rayos UV en una ciudad con gran altitud solar y altura sobre el nivel del mar.

Los *data-loggers* fueron colocados:

- Uno en el centro de cada espacio cerrado de hasta 100m². Si el espacio cerrado tenía un area mayor, se lo dividía en zonas y se colocaba un data logger en el centro de cada zona. La Universidad de la Plata hizo algo similar colocando tres *data-loggers* para medir temperatura en un espacio de aproximadamente 405m² (San Juan, et al., 2003). Ciertas empresas de ventilación y calefacción artificial recomiendan medir la temperatura cada 100m² (Siber Ventilación Inteligente, 2024). Esta distribución central es apropiada para medir la temperatura y humedad relativa porque refleja la realidad de todo el espacio cerrado, pero, tiene limitaciones para medir la luz natural ya que al medir solo el punto central de la habitación, no se pueden registrar variaciones en los puntos periféricos que a veces pueden ser importantes. Cuando un espacio o espacios presentaban un comportamiento lumínico interesante, se los medía de forma adicional siguiendo una grilla de nueve puntos sobre el plano de trabajo.
- Sobre una mesa o escritorio a una altura de setenta centímetros, debido a que la actividad principal de los espacios era sedentaria ya sea de oficina o estudios. Esta ubicación evitaba que la temperatura del piso o del techo afecten la mediciones de temperatura y humedad relativa, y en el caso de la luz natural, daba una lectura ideal sobre el plano de trabajo. Si no era posible colocarlos sobre una mesa por razones de seguridad o logística, se los colocaba en una viga alta, marco de ventana, dintel o volado pero nunca superando los dos metros de altura. La estratificación de temperaturas y humedad relativa dentro del mismo espacio cerrado era tolerable.
- Fuera del sol directo, sin embargo, la sobreexposición al sol fue inevitable en algunos espacios con tragaluces o patios cubiertos con vidrio, pero, fue considerada durante el análisis.

Los *data-loggers* fueron programados para registrar información cada hora.

Los datos medidos con los *data-loggers* se compararon contra estándares de confort (Tabla 1) considerando

Tabla 1: Estándares de confort definidos con valores del método bioclimático de Silvia de Schiller y John Martin Evans, del Monitor de Calidad de Aire Interior Home Coach Smart Indoor Air Quality y de los estudios de la Universidad de la Plata. Evans (1988), NETATMO (2023), San Juan, et al, (2003)

Temperatura		Humedad relativa		Luz natural
Demasiado frío <15°C	Fatiga, sueño, pérdida de la atención, letargia, resfríos, dolores de los huesos.	Insano húmedo >80%	Congestión nasal, fomenta crecimiento de moho y hongos, incrementa alergias y asma.	Dibujo técnico y aulas especiales, ideal 1000 lux, mínimo 750 lux
Frío 15-17°C		Pobre 70-80%		Trabajo de oficina y aulas comunes ideal 500 lux, mínimo 300 lux.
Saludable 18 a 26°C	Mínimo para aulas según Norma Argentina 20°C	Saludable 30%-40% y 50-60%.		Circulación y lectura 50 lux
Caliente 26-29°C	Dolor de cabeza, sueño, pérdida de la atención, irritabilidad, deshidratación.	Pobre 30-20%	Causa piel y mucosas secas.	
Demasiado caliente >29°C		Insano seco <15%		

medidas individuales, promedios de todas las temperaturas, promedios de temperaturas por tipos y/o posición de espacios (máximo y mínimo), medidas individuales absolutas (máximo y mínimo), y amplitudes (diferencias entre máximos y mínimos).

Los estándares de confort fueron definidos usando valores recomendados por Silvia de Schiller y John Martin Evans a lo largo de sus investigaciones ya que son figuras seminales en la región respecto a la arquitectura bioclimática (Evans, 1988), del Monitor de Calidad de Aire Interior Home Coach Smart Indoor Air Quality (NETATMO, 2023) y la normativa argentina de edificios escolares (San Juan, Viegas y Melchior, 2003).

3. Resultados

3.1. Administración General

Administración General está formado por dos edificios tipo de dos pisos cada uno, el ET1 y ET2. Este edificio tipo tiene una proporción en la cual su largo es cinco veces su ancho, su ancho es tres veces la altura de un piso (Figura 3). Un tercio de la planta a lo largo se usa para el corredor y dos tercios para las oficinas. El edificio tipo ET1 tiene dos pisos de altura y el ET2 uno; el ET1 es un espejo del ET2 por su lado largo. Once oficinas en el primer piso del edificio ET1 fueron medidos en octubre de 2021, estos espacios tenían una configuración ortogonal con ventanas hacia el exterior en una sola fachada y recubrimientos interiores de materiales naturales como madera o cuero.

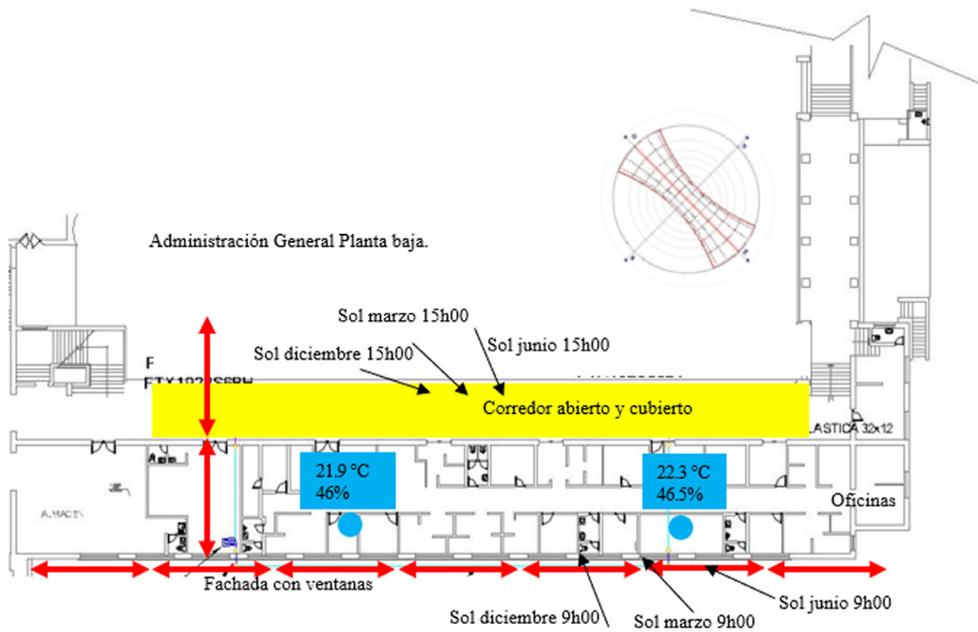
Al hacer un promedio de todas las mediciones registradas en todos los espacios se obtuvo una

temperatura promedio de 20,81°C, con una humedad relativa de 52,7%, e iluminación natural de 45,3 luxes. Al hacer promedios por zonas, las oficinas de rectorado y vicerrectorado en segundo piso tienen una temperatura de 21,7°C, una humedad de 47% y menos de 50 luxes. Los valores individuales más altos y bajos registrados fueron de 23,35 y 18,83°C, 66 y 48% de humedad, 681,9 y 3,9 luxes. Las temperaturas más frías por lo general ocurrieron en las noches, madrugadas y mañanas, mientras que las más calientes cerca del mediodía. La combinación de temperaturas y humedad están dentro del confort.

El ET1 tiene ganancia solar directa por las ventanas de las oficinas solo en la mañana, mientras que el ET2 lo tiene solamente en la tarde. Se puede inferir que cerca del solsticio de diciembre, el ET1 podría alcanzar sus temperaturas más altas debido a la mayor exposición solar matutina de la fachada con ventanas, mientras que en junio tendría sus temperaturas más bajas debido a la menor exposición solar (Figura 4 orientación real). El Edificio ET2 tendría un comportamiento opuesto, es decir que posiblemente registrará sus temperaturas más altas en junio debido a la mayor exposición solar vespertina de la fachada con ventanas, mientras que en diciembre tendría temperaturas más bajas debido a la menor exposición solar.

Para 1975 el ET2 sufrió una ampliación que mantuvo intacto su corredor, pero duplicó el ancho de las oficinas, dándole una planta mucho más profunda, casi cuadrangular, para albergar una imprenta. El análisis indica que el ET1 a pesar de recibir solamente unas tres a cuatro horas de asoleamiento efectivo al día a través de sus ventanas (desde las 8h00 hasta las 12h00),

Figura 3: Plano de planta baja de la Administración General del Campus de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador Universidad Central del Ecuador (2020)



Ubicación de Data logger y promedios de mediciones en el primer piso.

logra mantener las temperaturas internas dentro de los estándares de confort en el mes de octubre, lo que sugiere que la ganancia solar directa a través de las ventanas no es la única fuente de calor del edificio, y probablemente es ayudada por la transmisión de calor por paredes de ladrillo y cubiertas de hormigón y por los recubrimientos internos de madera y cuero.

El análisis también indica que el ET1 hubiera tenido una exposición solar anual más equilibrada si su fachada larga se hubiera orientado de forma perpendicular al eje este-oeste como se ve en la Figura 4 (orientación ideal), evitando así, el menor asoleamiento que hay en junio en la orientación actual con giro de 45 grados debido a que el ángulo del sol tiende a ser demasiado paralelo a la fachada; en el ET2 ocurriría lo mismo pero de forma opuesta, es decir que se evitaría la menor exposición solar de diciembre.

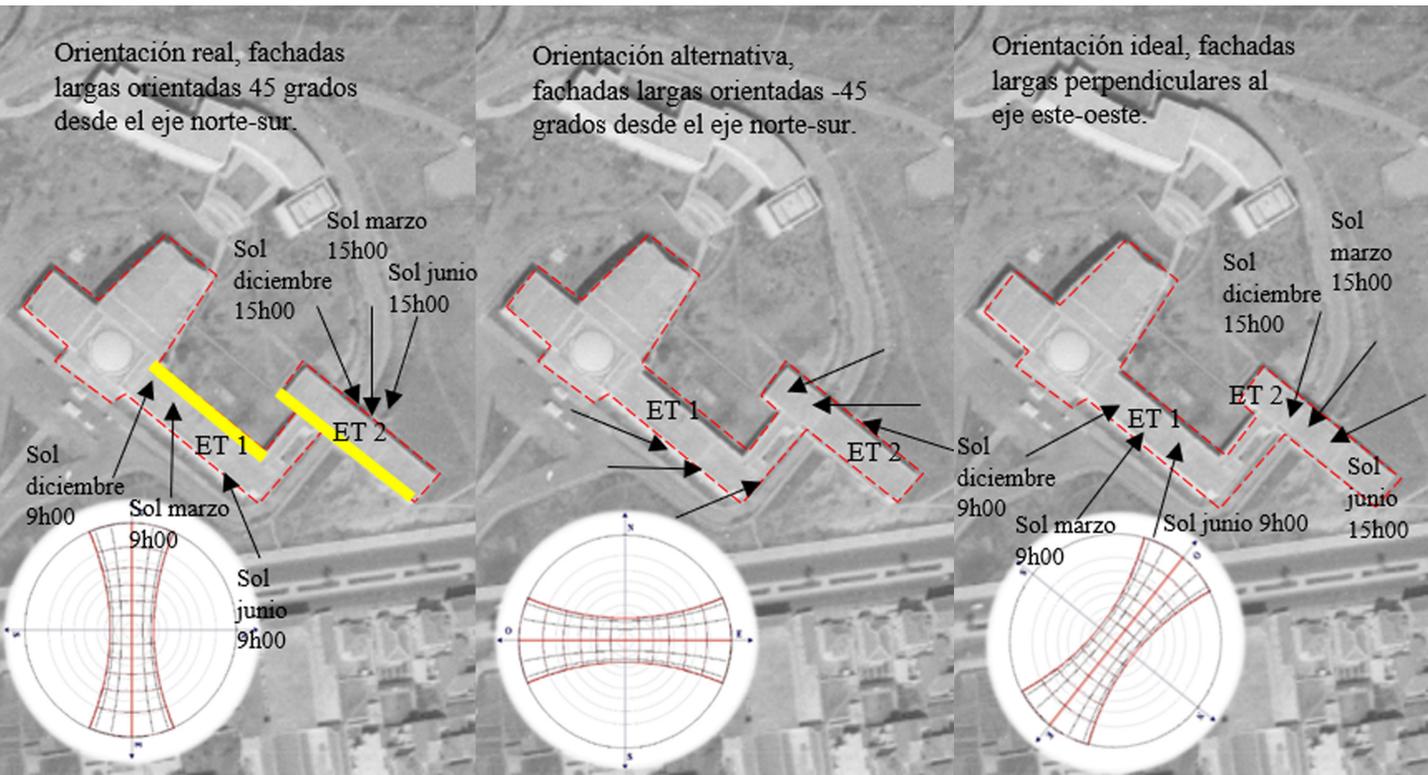
3.2. Facultad de Economía

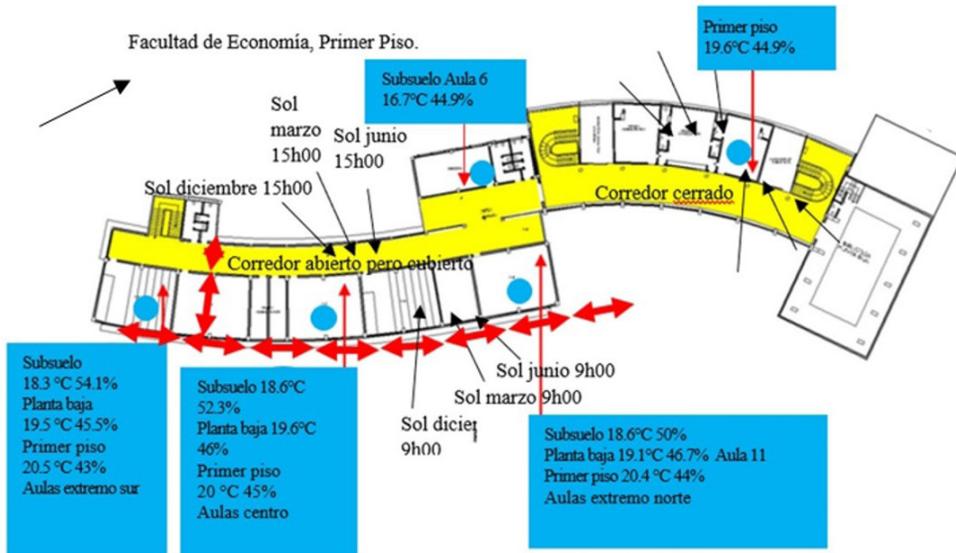
Economía está formado por dos edificios tipo de dos pisos cada uno, el ET5 y ET6. El edificio tipo de la facultad de Economía es similar en proporción al de Administración General, pero, con la diferencia de que su planta no es un rectángulo perfecto, sino que se curva hacia el exterior, dándole al corredor que conecta los edificios tipos ET5 y ET6 una forma ligeramente sinuosa. La proporción se caracteriza porque el ancho total de la planta es tres veces su altura, el ancho de la planta está dividido a lo largo de forma que el corredor ocupa un tercio y las aulas, los dos tercios restantes; el largo total del edificio es cinco veces el ancho total de la planta (Figura 5); el ET6 tiene tres pisos de altura, y el ET5 dos; el ET6 es un espejo del ET5 por su lado largo. Veinte y cuatro espacios (aulas y oficinas) fueron medidos en noviembre de 2020. Se seleccionaron aulas en los extremos y el centro de los tres pisos (subsuelo, planta baja y primer piso) del ET6 y el centro del primer piso del ET5.

Estas aulas tienen una planta ligeramente trapezoidal con una sola fachada con ventanas, y un piso con recubrimiento de madera; la fachada está formada por un antepecho sólido de un metro, sobre este hay una ventana de 1,5m que se puede abrir en los extremos, sobre esta hay un cortasol o *brise-soleil*. de 20cm de alto y sobre este, otra ventana de unos 70cm de alto, las ventanas ocupan todo el largo del aula (Figuras 7 y 8).

Al hacer un promedio de todas las mediciones registradas en todos los espacios de la facultad de economía se registró una temperatura promedio de 18,92°C, una humedad

Figura 4: Fotografía aérea de la Administración General del Campus de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Instituto Geográfico Militar (1959)





Ubicación de Data logger y promedios de mediciones en el primer piso.

Figura 5: Plano primer piso de la Facultad de Economía del Campus de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador Universidad Central del Ecuador (2020)

relativa de 47%, y 26 luxes. Al hacer promedios por zonas, el subsuelo tiene 18,12, la planta baja tiene 18,98 y la planta alta tiene 20,16°C. El subsuelo tiene 53,47, la planta baja tiene 47,34 y la planta alta 44,71% de humedad. La combinación de temperaturas y humedad de todos los pisos medidos están dentro del confort. Las temperaturas se incrementan alrededor de 1°C en cada piso superior, los pisos más altos son más calientes que los pisos bajos. La humedad es inversamente proporcional, al bajar un promedio de 4% en cada piso superior. Los niveles de luz están por debajo del rango mínimo de 50 luxes. Los promedios de temperaturas de todas las aulas cumplen los rangos aceptables de confort, existiendo un incremento de 1°C en cada piso, con 18,3 a 18,6°C en las aulas del subsuelo, 19,1 a 19,6°C en las aulas de planta baja, y 20 a 20,5°C en las aulas del primer piso.

Los valores individuales más altos y bajos registrados fueron de 23 y 16,3°C, 61 y 34% de humedad, 145,8 y 3,9 luxes. Las temperaturas más frías por lo general ocurrieron en las noches, madrugadas y mañanas, mientras que las más calientes cerca del mediodía.

Se infiere que el ET6 registraría temperaturas más altas en diciembre debido a la mayor exposición solar de su fachada con ventanas en la mañana, mientras que en junio tendría temperaturas más bajas debido a la menor exposición solar. El ET5 tendría un comportamiento opuesto, es decir que registraría temperaturas más altas en junio y más bajas en diciembre (Figura 6 orientación real). Además, el ET6 tiene ganancia solar directa

por sus ventanas solamente en la mañana mientras que el ET5 lo tiene solamente en la tarde debido a la configuración lineal con espacios a un lado y corredor al otro. El ET6 hubiera tenido una exposición solar anual más equilibrada si su fachada larga se hubiera orientado de forma perpendicular al eje este-oeste (Figura 6 orientación ideal), evitando así, el menor asoleamiento que hay en junio en la orientación actual debido a que el ángulo del sol tiende a ser demasiado paralelo a la fachada larga; en el ET2 ocurriría lo mismo, pero de forma opuesta, es decir que se evitaría la menor exposición solar en el mes.

La curva de ET6 y ET5, a pesar de ser muy ligera, provoca un comportamiento solar diferente en las aulas del centro, y de los extremos sur y norte. Las ventanas están protegidas por dos *brise-soleil* de hormigón que impiden el ingreso de sol pasadas las diez de la mañana cerca de marzo, septiembre y diciembre, las aulas no reciben sol por sus ventanas cerca de junio. El lugar más frío en promedio fue el aula seis, con una temperatura de 16,7°C, es decir que está bajo el rango mínimo y está 2°C por debajo de la temperatura de las aulas vecinas, esto ocurre por estar semienterrada y tener una única ventana alta y alargada. El auditorio vacío presenta temperaturas por debajo del rango de confort mínimo durante todo el día debido a la falta de ventanas y a que está semi enterrado.

Todos los espacios tenían niveles de iluminación natural por debajo del mínimo para actividades de oficina y aula. Se detectó un comportamiento lumínico interesante en

el aula once, al ser modificada mediante la colocación de un techo falso de gypsum o drywall a la altura del cortasol o *brise-soleil* suprimiendo la ventana alta de 0,7m (Figura 7). Se procedió a medir las aulas once, siete y nueve de forma adicional siguiendo la grilla de nueve puntos sobre el plano de trabajo, revelando que el aula once tenía niveles de luz natural más bajos en las áreas más alejadas de la ventana que las aulas siete y nueve, indicando que la ventana alta permitía que la luz penetre más profundamente y sugiriendo que existió una intención de diseño con el clima, específicamente con la luz natural, por parte de Gatto Sobral.

3.3. Facultad de Jurisprudencia

Jurisprudencia está formado por los edificios tipo los edificios ET3 y ET4. El edificio tipo de Jurisprudencia tiene una proporción en donde el largo del edificio es seis veces el ancho total de la planta, el ancho de la planta es tres veces la altura de un piso, y en la planta, las aulas ocupan un ancho dos veces mayor al del corredor (Figura 8); los edificios ET3 y el ET4 tienen dos pisos de altura y son perpendiculares entre sí. Más adelante se construyó un edificio adicional de tres pisos, paralelo al ET3 y perpendicular al ET4, que formaba una

nueva composición en U, se sospecha que esta adición no fue hecha por Gatto Sobral. Diecinueve espacios fueron medidos (aulas, oficinas y auditorio en planta baja; aulas en el primer piso, y aulas en el segundo piso) en noviembre de 2020. Estos espacios tenían una configuración ortogonal con ventanas en una sola fachada y con recubrimientos de madera en pisos.

Al hacer un promedio de todas las mediciones registradas en todos los espacios de la facultad de jurisprudencia se obtuvo una temperatura de 17,91°C, una humedad relativa de 57%, 22,6 luxes.

Al hacer promedios por zonas, la planta baja tiene 17,6°C, el piso dos 17,32°C, el piso tres 18,83°C y la biblioteca 17,8°C de temperatura. La planta baja tiene 59%, el piso dos 56,04%, el piso tres 51,21% y la biblioteca 61,31% de humedad. El piso tres, el más alto, es aproximadamente 1 grado centígrado más caliente que los pisos bajos con 18,8°C. La humedad tiende a ser inversamente proporcional entre los pisos, es decir que las temperaturas más bajas se corresponden con humedades más altas. La combinación de temperaturas y humedad de todos los pisos medidos están por debajo del confort, con temperaturas bajas y humedades altas. Los niveles de luz están por debajo del rango de confort.

Figura 6: Fotografía aérea de la Facultad de Economía del Campus de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Instituto Geográfico Militar (1959)

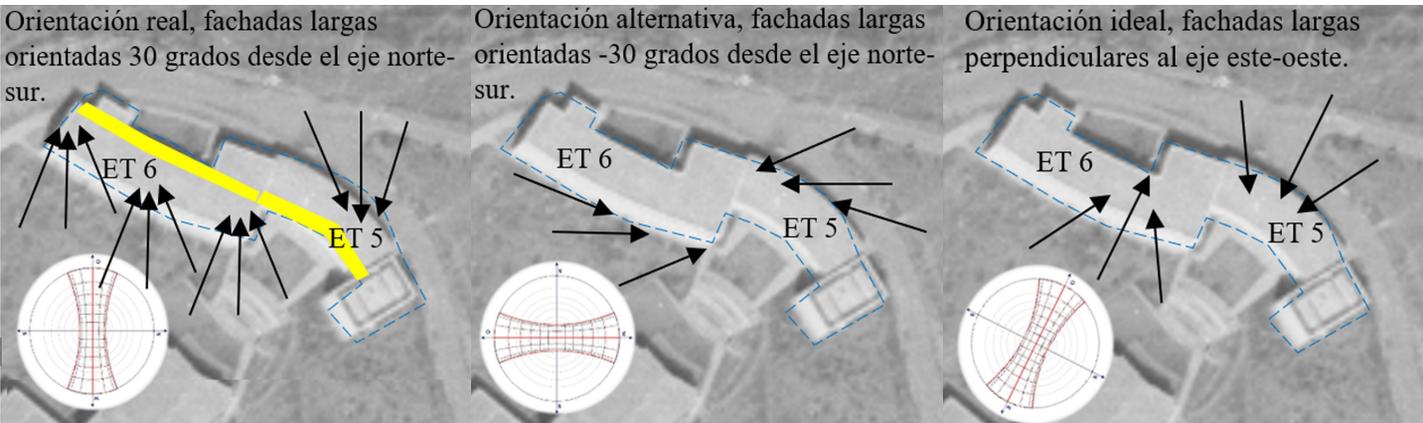


Figura 7: Aulas de la Facultad de Economía del Campus de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. (2020)



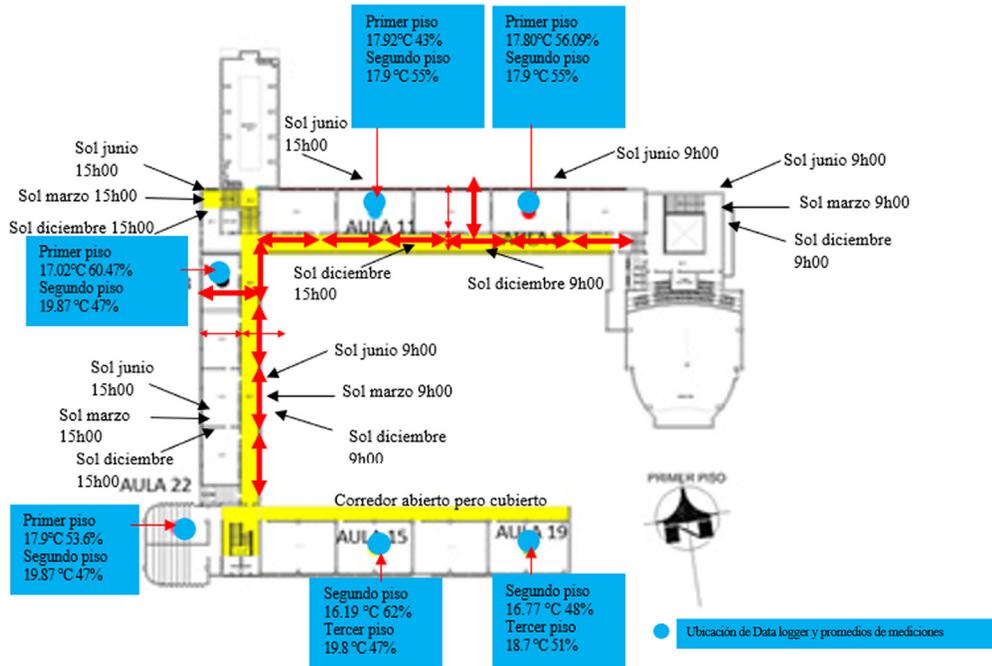


Figura 8: Plano primer piso de la Facultad de Jurisprudencia del Campus de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador
 Universidad Central del Ecuador (2020)

Las temperaturas individuales más altas y bajas registradas fueron de 25,50 y 14,26°C, mostrando una amplitud térmica de 11°C, una humedad de 73 y 42%, 1787 y 3,9 luxes. Las temperaturas más frías por lo general ocurrieron en las noches, madrugadas y mañanas, mientras que las más calientes cerca del mediodía. Casi todos los espacios registraron valores por debajo de la zona de confort, excepto dos espacios, el paraninfo y el aula 27 en tercer piso, que alcanzan temperaturas dentro del confort (23 y 20°C).

El ET3 tiene ganancia solar directa por las ventanas de las aulas durante todo el día únicamente cerca del solsticio de junio, mientras que el ET4 tiene ganancia solar en las ventanas de las aulas solamente en las tardes durante todo el año. Se puede inferir que cerca del solsticio de diciembre, el ET3 podría alcanzar sus temperaturas más bajas debido a la nula exposición solar de la fachada con ventanas (Figura 9 orientación real).

La disposición perpendicular de ET4 y ET3 no permite una exposición solar más equilibrada ni en la alternativa uno ni dos (Figura 9), ya que uno de los edificios siempre tendrá un momento del año sin recibir radiación solar por sus ventanas. Entre Administración General, Economía y Jurisprudencia, esta última es la que peor comportamiento climático tiene, siendo la más fría y húmeda. La biblioteca tiene temperaturas promedio bajo el rango de confort con 17,8°C. El auditorio vacío tiene una temperatura promedio por debajo del rango de confort con 17,3°C. En cuanto a iluminación natural, las aulas tienen niveles por debajo del rango para oficinas al recibir luz solo por el lado opuesto al corredor (Figura 10).

4. Discusión

El análisis de las mediciones de calidad bioclimática de los edificios en el campus UCE (Tablas 2 y 3) permitió evaluar los edificios educativos de Gatto Sobral desde un nuevo ángulo.

Los edificios que Gatto Sobral hizo en el campus se describen como luminosos (Villagomez, et al., 2020), pero, si se consideran los promedios de luz natural en puntos centrales de todos los espacios medidos y los promedios por zonas, ninguno está dentro del rango mínimo para actividades de oficina o educativas. Las causas recaen primero en la forma y proporción del edificio tipo, que a pesar de percibirse desde la distancia como alargado, esbelto, lineal y abierto (Villagomez, et al., 2020), es en realidad un edificio masivo con una profundidad demasiado grande con respecto a la altura de sus ventanas, con oficinas y aulas con una sola ventana, en las que la luz natural solo ilumina efectivamente un tercio del interior de las plantas. Luego recaen paradójicamente en la adaptación que hizo Gatto Sobral de los edificios al paisaje y la topografía (Villagomez, et al., 2020) con la creación de edificios masivos pero que a la distancia se ven esbeltos y alargados, dando prioridad a la contemplación de los edificios y no a cómo serán vividos.

Hay que reconocer que Gatto Sobral si incluyó manipulaciones funcionales y estéticas de la luz difusa, como los bloques de vidrio en las fachadas de la biblioteca o el tragaluz de bloque de vidrio del paraninfo de la Facultad de Jurisprudencia, o el diseño de la

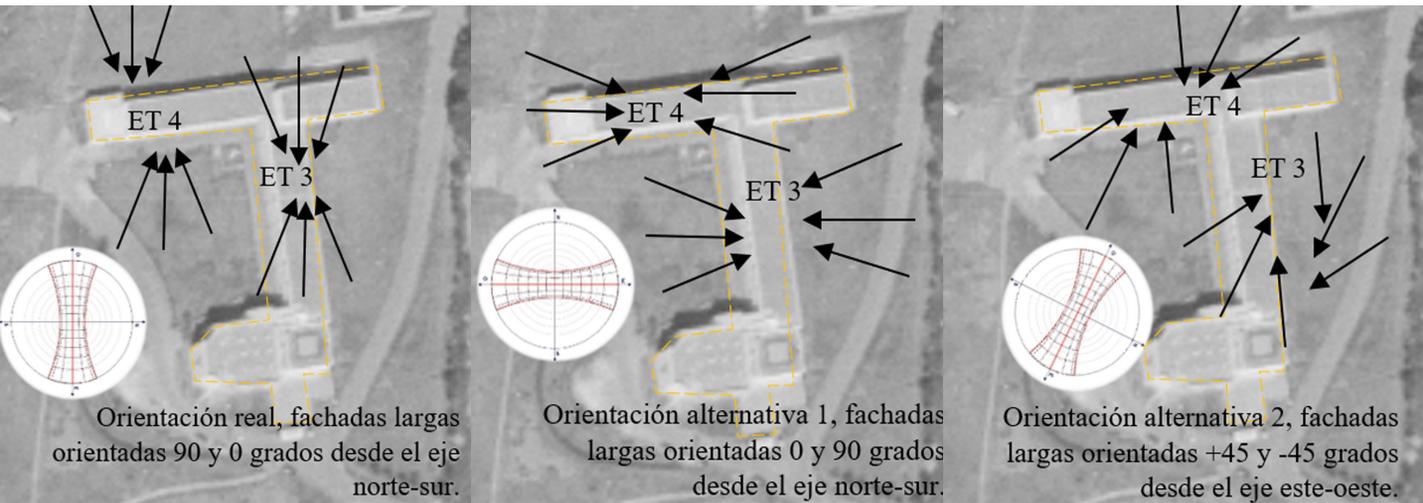


Figura 9: Fotografía aérea de la Facultad de Jurisprudencia del Campus de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Instituto Geográfico Militar (1959)

Edificio	Temperatura°C	Humedad relativa %	Luz natural lux
Administración General	20,81	52,71	45,31
Economía	18,9	47,59	26,03
Jurisprudencia	17,91	57,07	22,62

Tabla 2: Promedios totales

Edificio	Temperatura°C		Humedad relativa %		Luz natural lux	
Administración General	23,35	20,37	66,23	48,39	681,9	3,9
	Amplitud térmica: 2,98					
Economía	23	16,3	61	34	145,8	3,9
	Amplitud térmica: 6,4					
Jurisprudencia	25,50	14,26	73,46	42,97	1787	3,9
	Amplitud térmica: 11,24					

Tabla 3: Máximos y mínimos absolutos

ventana y sobreventana en las aulas de Economía, sin embargo, el resultado global de sus edificios no logró niveles adecuados de iluminación natural, causando problemas de salud como agotamiento visual o ánimo deprimido en estudiantes y docentes sobretodo, o perjudicando el desempeño de las actividades realizadas en aulas y oficinas. Generando la necesidad de usar luz artificial a lo largo del día para compensar esta falencia.

El segundo problema importante de los edificios de Gatto Sobral es que son fríos. Si bien es cierto que hubo espacios que registraron temperaturas dentro del confort, sobre todo en Administración General, lo hacían estando cerca del rango mínimo de 18°C, lo cual aún puede sentirse frío para algunas personas, o puede llegar a sentirse frío al realizar trabajo sedentario durante tres o más horas seguidas como ocurre en las clases, y está dos grados por debajo de la norma argentina de 20°C para espacios educativos. Administración General tuvo el mejor comportamiento térmico y la facultad de Jurisprudencia el peor como se observa en la Tabla 2. Al

comparar los diagramas de confort de Víctor Olgyay del clima de Quito (Figura 14) con las mediciones de los tres edificios, se observa que solo la Administración General tiene valores promedios, máximos y mínimos dentro del confort (Figura 15), los valores de Economía (Figura 16) y Jurisprudencia (Figura 17) aparecen bajo el confort, dentro de la zona que indica que se necesita elevar las temperaturas. Las bajas temperaturas que se registraron pueden causar problemas como fatiga, sueño, pérdida de la atención, letargia, resfríos, hasta dolores de los huesos en docentes, alumnos, trabajadores y personal administrativo. Lo cual es particularmente perjudicial para UCE porque puede disminuir la capacidad de aprendizaje y concentración de los estudiantes y docentes.

No existe una solución arquitectónica fácil para arreglar pasivamente y a largo plazo estos problemas debidos a la forma (grandes espacios, planta profunda, orientación incorrecta) y los materiales (hormigón, ladrillo y vidrio) utilizados, pero a corto plazo se podrían mejorar las condiciones activamente con calentadores eléctricos.

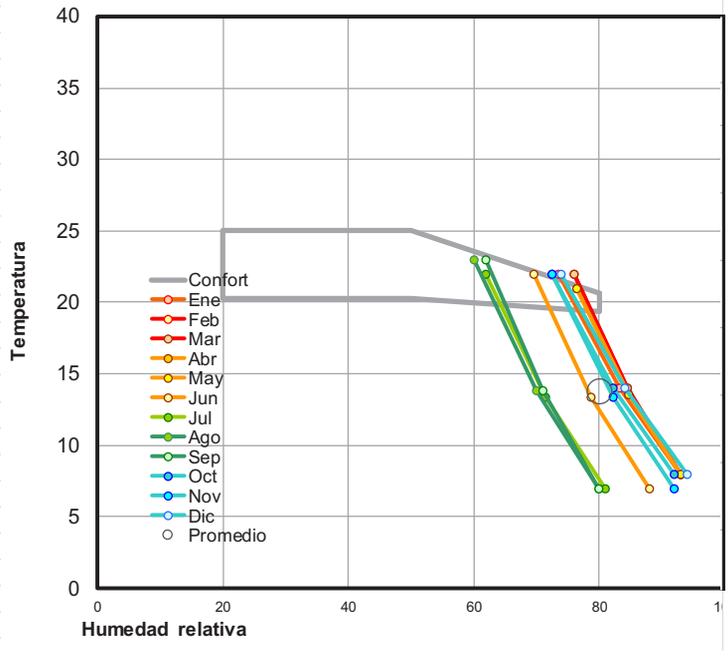


Figura 10: Diagrama de confort de Victor Olgay realizado con software e-Clim utilizando datos tomados de la estación meteorológica M0024 QUITO INAMHI-INNAQUITO. Evans y Delbene (2004), (2024)

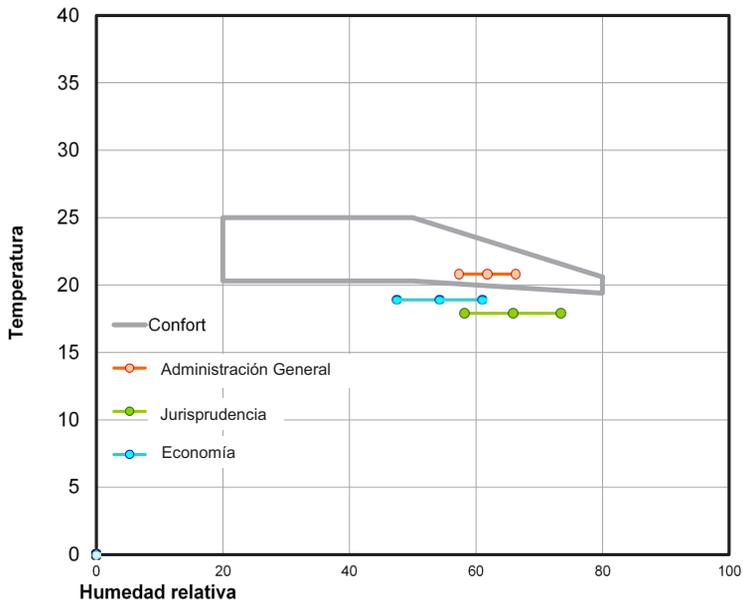


Figura 11: Diagrama de confort de Victor Olgay realizado con software e-Clim utilizando datos promedios totales y máximos y mínimos absolutos de la Administración General, la Facultad de Jurisprudencia y la facultad de Economía. Evans y Delbene (2004), (2024)

Al comparar los tres edificios, se observa que Gatto Sobral no consideró la orientación solar, o la subordinó a la adaptación al paisaje y a la topografía del terreno, además, las disposiciones simétricas como un espejo o perpendiculares de los edificios tipo es inadecuada para la latitud quiteña ya que causa asoleamientos desequilibrados a lo largo del año. El hormigón en losas y entrepisos, junto al ancho de las paredes de ladrillo también contribuyen a las bajas temperaturas de los edificios.

El hecho de que el campus UCE haya construido edificios con problemas bioclimáticos a pesar de haber sido planificado desde cero dentro de un Plan Maestro Urbano, en un terreno libre y amplio, contando con financiamiento gubernamental y con arquitectos profesionales, no es algo inusual, ha habido otros proyectos modernos de gran escala que fallaron en su adaptación climática. Por ejemplo, los brasileños Oscar Niemeyer y Lucio Costa, diseñaron la nueva ciudad de Brasilia desde cero junto con varios de sus edificios más importantes, y tuvieron problemas con el calor y la latitud de Brasil. El icónico arquitecto Le Corbusier diseñó el Plan Maestro para la ciudad de Chandigarh en la India, pero, los *brise-soleil* que proyectó no controlaron el sol como se esperaba, un error que probablemente se debió a que el arquitecto se guió más por su “instinto” que por su conocimiento al momento de enfrentarse a una latitud y un clima caliente diferente al europeo (Szokolay, 1998).

Es verdad que, desde sus orígenes, el movimiento moderno tuvo un interés por la higiene y la salud, materializado sobre todo en estudios de ventilación y asoleamiento, sin embargo, a pesar de eso, cometió errores importantes de adaptación climática que pueden atribuirse a tres causas: el desconocimiento de cómo trabajar con el clima; el deseo de alejarse de los materiales y formas que se usaban en la arquitectura tradicional y/o que recordaban una imagen inadecuada, burguesa, historicista o primitiva -paredes portantes, techos inclinados, volados, ladrillo, madera, teja, ventanas pequeñas con marcos de madera, y decoraciones- y experimentar en su lugar con formas y materiales nuevos, como hormigón, grandes ventanales de vidrio, plásticos, estructura de viga-columna independiente de las paredes, *brise-soleil* y techos planos. Alejarse de la tradición, implicó alejarse de la arquitectura vernácula, o “regional arquetípica” (Grosso, 2021, p. 119) que desarrolló formas y técnicas que funcionan en el clima local luego de procesos de prueba y error que tomaron generaciones. La tercera causa está relacionada con una actitud que permeó la arquitectura moderna y podría resumirse en el lema “partir de cero” o “volver a crear el mundo” (Wolfe, 2010, p. 156), que daba a ciertos lugares el estatus de “laboratorios de experimentación” o “campos de prueba” (McGuirk, 2014) y que dotaba a sus diseñadores de cierta aura heroica.

Brian Goldstein diferencia entre los dos tipos de historias que se pueden contar sobre un edificio, una es la historia de su diseño, otra, la de su vivencia (Goldstein, 2023). La primera historia celebra al diseñador y los riesgos creativos que tomó, omitiendo la segunda, la cual cuenta como el edificio es habitado. Las fotografías

que se transmiten de los edificios, usualmente lo muestran hermoso, pero no transmiten los problemas bioclimáticos que tiene en su interior porque estos son invisibles. Son edificios fotogénicos, pero incómodos. Algo similar ocurre con el caso de Gatto Sobral, el campus UCE era ese un nuevo mundo y la narrativa que predomina en los estudios que se explicaron en la introducción es la del diseño de los edificios, celebrando su belleza formal y su integración con el paisaje, pero omitiendo la vivencia, según la cual todas las generaciones de estudiantes y docentes han sufrido frío y penumbra. Los problemas de calidad bioclimática del caso UCE fueron visibilizados por los *data-loggers*. El campus UCE y el Plan Urbano de Quito también nacieron en una época en la que el Ecuador tenía el deseo de modernizarse, es decir pensar en el futuro y no en antiguos estándares de vida, así que el alejamiento de lo tradicional también puede leerse como un alejamiento de lo que se consideraba primitivo, sin saber que esto produciría edificios que no se adaptaban pasivamente al clima y que afectarían la salud de sus usuarios.

5. Conclusiones

Este estudio, que abarcó el diagnóstico de la calidad bioclimática mediante la medición de las condiciones cuantitativas de temperatura, humedad relativa e iluminación natural de tres edificios modernos del campus UCE realizados por el arquitecto Gilberto Gatto Sobral permitió arribar a dos conclusiones:

Primero, la calidad bioclimática de estos edificios es deficiente. La mayoría de espacios estudiados en la muestra sufren de frío y penumbra, necesitando una intervención arquitectónica importante para solucionarlo pasivamente, o el uso de calentadores eléctricos e iluminación artificial. Se recomienda continuar con una serie de investigaciones que amplíen los resultados obtenidos en esta, por un lado, concentrándose en medir el aula tipo o el aula representativa de cada edificio con mayor profundidad, incluyendo la presencia de gente, y por otro, logrando que estas investigaciones arriben a posibles propuestas de diseño que superen la condición actual. También se pueden planificar investigaciones que hagan correlaciones entre la salud y satisfacción de docentes y estudiantes con las medidas cuantitativas tomadas en las aulas.

Segundo, el clima no jugó un papel significativo durante el diseño de los edificios. Gatto Sobral tuvo comportamientos similares a otros arquitectos del movimiento moderno de su época, usando formas y materiales nuevos sin considerar el clima local y a pesar de tener ciertas intenciones de diseño pensadas para manipular la luz natural, no tomó en cuenta la geometría solar ni el comportamiento térmico de los materiales causando edificios con un deficiente comportamiento térmico y lumínico.

Conflict of Interests. The author declares no conflict of interests.

© Copyright: Ursula Freire Castro, 2024.

© Copyright of the edition: *Estoa*, 2024.

6. Referencias bibliográficas

- Bonilla, X., Villagómez, J., y Casado, G. (2020). Brutalismo en Quito. Materialidad, expresividad, e identidad dentro del Movimiento Moderno. En J. Mantilla, *Colección Miradas Plurales y Diversas Edición Arquitectura Moderna del Ecuador* (pp. 102-129). Línea Editorial CAE-P.
- Cepeda O., M., y Morales, S. (mayo de 2018). Análisis Bioclimático, proyecto: La casa de Meche. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34933.88800>
- Evans, J. M. (1988). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Secretaría de Extensión Universitaria, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- Evans, J., y Delbene, C. (2004). *e-clim Analisis de clima y confort. Temperatura media y confort segun hora y mes*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Centro de Investigación Hábitat y Energía.
- Fernández Mendoza, M., Anchundia Álava, K., Intriago Landázuri, A., Muentes Rivera, W., y Ormaza García, F. (2023). Análisis bioclimático de los edificios públicos en Manta: edificio de la EPAM y autoridad portuaria. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 7 (1). https://doi.org/10.37811/cl_rcmv7i1.4523
- Goldstein, B. (2023). *A house, an archive*. Brilliant Graphics.
- Grosso, M. (2021). Bioclimatic Approaches in Urban and Architectural Design. In G. Chiesa, *Origin and evolution of the bioclimatic approach to architecture* (pp. 119-152). PoliTO Springer Series. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-59328-5>
- Instituto Geográfico Militar. (1959). Fotografía aérea.
- Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología -Inamhi. (1990-2012). Anuario Meteorológico.
- Gonzalo, G., Ledesma, S., Nota, V., Cisterna, M., Martínez, C., Vega, G., Quiño. (2010). Propuesta de Diseño Bioclimático para el mejoramiento termo-lumínico de aula de la Universidad Nacional de Tucumán. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 05, 119-126.
- Márquez Vega, S., Villa, C., y Martínez, C. (2021). Estudios y propuestas para el mejoramiento lumínico de aula-taller de la facultad de arquitectura, UNT. https://www.researchgate.net/publication/364409972_ESTUDIOS_Y_PROPUUESTAS_PARA_EL_MEJORAMIENTO_LUMINICO_DE_AULA-TALLER_DE_LA_FACULTAD_DE_ARQUITECTURA_UNT/citation/download
- McGuirk, J. (2014). *Radical Cities: Across Latin America in Search of a New Architecture*. Verso.
- Netatmo. (15 de 09 de 2022). Smart Indoor Air Quality Monitor. <https://www.netatmo.com/en-eu/smart-indoor-air-quality-monitor>
- Rivera Muñoz, M. (2020). Parecer hasta llegar a ser: Negociación y adaptación arquitectónica en laproyección de la modernidad en Ecuador. El caso de Cuenca. En J. Mantilla, *Colección Miradas Plurales y Diversas Edición Arquitectura Moderna del Ecuador* (pp. 9-35). Línea Editorial CAE-P.
- San Juan, G., Viegas, G., y Melchior, M. (2003). Auditoría ambiental en aulas de grandes dimensiones estudio de caso. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente ASADES*, 7(1). https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/80777/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1
- Siber Ventilación Inteligente. (30 de mayo de 2024). *Siberzone*. <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/medir-la-temperatura-y-controlarla-un-tema-normativo/>
- Szokolay, S. (1998). Bioclimatic Architecture and Solar Energy. En A. Auliciems, *Human Bioclimatology* (pp. 111-132). Springer-Verlag.
- Vallejo Guayasamín, P. (2020). Oswaldo Muñoz Marino. Aportes a la arquitectura moderna del país. En J. Mantilla, *Colección Miradas Plurales y Diversas Edición Arquitectura Moderna del Ecuador* (pp. 77-100). Línea Editorial CAE-P.
- Villagomez, J., Casado, G. y Bonilla, X. (2020). Gilberto Gatto Sobral en la educación. Tres escalas: 1946, 1953 y 1956. En *Colección Miradas Plurales y Diversas Edición Arquitectura Moderna del Ecuador* (pp. 46-76). Línea Editorial CAE-P.
- Wolfe, T. (2010). *La palabra pintada y ¿Quién teme al Bauhaus feroz?* Anagrama.