

Propuesta de ampliación y remodelación con visión sostenible del edificio CECO de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

ESTUDIANTE: ING. NICOLE ESTEFANIE SÁNCHEZ ARAYA
TUTOR: ARQ. CARLOS UGALDE HERNÁNDEZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Maestría Profesional en Diseño y Construcción Sostenible

Junio del 2026

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Maestría en Diseño y Construcción Sostenible

Trabajo final de Graduación

Evaluación final

Datos Generales		
Estudiante:	Nicole Sánchez Araya	
Nombre del proyecto:	"Propuesta de ampliación y remodelación con visión sostenible del edificio G5 de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica"	
Tutor	MSc. Carlos Ugalde Hernández	
Lector 1	MGP. Milton Sandoval Quirós	
Lector 2	Dr. José Andrés Araya Obando	
Coordinación / representante	Dra. Kenia García Baltodano	
Fecha:	18 de junio de 2026	
Instrucciones		
Asigne a cada criterio la puntuación obtenida en el instrumento de evaluación respectivo.		
Evaluación		
Criterios	Nota	%
Informe final	100	40
Evaluación del Tutor		
Evaluación lector 1	93,8	14,07
Evaluación Lector 2	85,6	12,84
Defensa pública	93,1	9,31
Evaluación de la coordinación/representante		
Evaluación lector 1	92,5	9,25
Evaluación Lector 2	94,4	9,44
NOTA		94,91

CARLOS MANUEL
UGALDE HERNANDEZ
(FIRMA)Firmado digitalmente por
CARLOS MANUEL UGALDE
HERNANDEZ (FIRMA)
Fecha: 2026.06.23 13:17:21 -06'00'

Tutor

KENIA GARCIA
BALTODANO (FIRMA)Firmado digitalmente por KENIA
GARCIA BALTODANO (FIRMA)
Fecha: 2026.06.18 19:48:18
-06'00'

Coordinación / Representante

TEC | Tecnológico
de Costa RicaFirmado digitalmente por
MILTON ANTONIO SANDOVAL
QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2026.06.22 14:38:05 -06'00'

Lector 1

TEC | Tecnológico
de Costa RicaDigitally signed by JOSE ANDRES
ARAYA OBANDO (FIRMA)
Date: 2026.06.18 19:56:53 -06'00'

Lector 2

NICOLE ESTEFANIE
SANCHEZ ARAYA
(FIRMA)Firmado digitalmente por NICOLE
ESTEFANIE SANCHEZ ARAYA
(FIRMA)
Fecha: 2026.06.23 15:04:18 -06'00'

Estudiante

Dedicatoria

A mi familia que siempre me ha apoyado, en especial a mi mamá Rosibel Araya Mora quien ha estado conmigo en todo momento.

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que me acompañaron en este proceso, en especial a Rosibel Araya Mora, Giselle Araya Mora y Michelle Vargas Coto.

Al profesor MDU Arq. Carlos Ugalde Hernández por su apoyo y transmisión de conocimiento en el desarrollo de este proyecto.

Declaratoria de derechos de autor

De acuerdo con la ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683 el autor conserva el derecho moral y patrimonial sobre la obra, no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones, reproducciones u obras derivadas de la misma. Para cualquier adaptación, comunicación al público o modificación de la obra, se deberá contar con autorización expresa y por escrito del autor.

Licencia creative commons

Propuesta de diseño sostenible para la ampliación y remodelación del edificio G5 de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica. © 2024 by Nicole Estefanie Sánchez Araya is licensed under Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Declaración de uso de herramientas de inteligencia artificial

Declaro que utilicé herramientas de inteligencia artificial para la elaboración del presente trabajo final de graduación. Las herramientas que utilizadas fueron: ChatGPT y se empleó en definiciones específicas tales como: revisión de citas textuales en el documento, como corrector, sinónimos, significados de términos y en la mejora de la renderización de las imágenes extraídas del modelo tridimensional de Revit Autodek.

Resumen

La presente investigación desarrolla una propuesta de ampliación y remodelación sostenible del edificio G5 del Instituto Tecnológico de Costa Rica, de la Escuela de Ingeniería en Construcción.

El estudio surge a partir de la identificación de limitaciones funcionales, espaciales y ambientales en la infraestructura actual, particularmente relacionadas con deficiencias en ventilación natural, aprovechamiento de iluminación diurna, organización espacial y condiciones de confort para usuarios.

La investigación se enmarca en un enfoque cualitativo, proyectual y aplicado. Este proceso integra el diagnóstico del edificio existente, el análisis de las necesidades espaciales de la Escuela, la revisión del marco normativo vigente, el estudio de casos de referencia y el análisis bioclimático del sitio. Estos insumos permiten establecer criterios de diseño orientados a mejorar el desempeño ambiental, la eficiencia energética, la accesibilidad y la funcionalidad del edificio.

Como resultado, se plantea un anteproyecto arquitectónico que incorpora la construcción de un segundo y tercer nivel sobre el edificio G5, con el fin de albergar espacios académicos, administrativos y colaborativos.

La propuesta integra estrategias pasivas de diseño bioclimático, tales como ventilación cruzada, control solar y aprovechamiento de iluminación natural, así como soluciones constructivas ligeras que reducen las cargas estructurales sobre la edificación existente. Se concluye que la ampliación propuesta constituye una alternativa viable para fortalecer la infraestructura académica de la Escuela de Ingeniería en Construcción, mejorando las condiciones de confort, funcionalidad y sostenibilidad del edificio en concordancia con los lineamientos institucionales del campus.

Palabras clave: arquitectura sostenible, ampliación vertical, infraestructura universitaria, diseño bioclimático, eficiencia energética.

Abstract

This research develops a proposal for the sustainable expansion and remodeling of the G5 building at the Costa Rica Institute of Technology, with the goal of converting it into the new facilities of the School of Construction Engineering.

The study stems from the identification of functional, spatial, and environmental limitations in the current infrastructure, particularly related to deficiencies in natural ventilation, use of daylight, spatial organization, and user comfort conditions.

The research is framed within a qualitative, design-based, and applied approach. This process integrates the assessment of the existing building, the analysis of the school's spatial needs, a review of the current regulatory framework, the study of reference cases, and a bioclimatic analysis of the site. These inputs allow for the establishment of design criteria aimed at improving the environmental performance, energy efficiency, accessibility, and functionality of the building.

As a result, a preliminary architectural design is proposed that incorporates the construction of a second and third level above the G5 building, in order to house academic, administrative, and collaborative spaces. The proposal integrates passive bioclimatic design strategies, such as cross ventilation, solar control, and the use of natural light, as well as lightweight construction solutions that reduce additional structural loads on the existing building.

It is concluded that the proposed expansion constitutes a viable alternative for strengthening the academic infrastructure of the School of Construction Engineering, improving comfort conditions, functionality, and sustainability in accordance with the institutional guidelines.

Keywords: sustainable architecture, vertical expansion, university infrastructure, bioclimatic design, energy efficiency.

Contenidos

Introducción	1
Problema	1
Alcance.....	3
Objetivos	5
Estado del Arte	7
Metodología	30
Propuesta	38
Desarrollo de la propuesta	128
Factibilidad de implementación	186
Conclusiones	193
Recomendaciones.....	195
Referencias bibliográficas	197
Anexos.....	203

Índice de figuras

Figura 1. Antes y después de la remodelación y ampliación de la Escuela CEIP Alzaga Ikastola.....	13
Figura 2. Ensamblaje utilizado en el proyecto	14
Figura 3. Espacios agregados al proyecto con la remodelación.....	15
Figura 4. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto	15
Figura 5. Ampliación de aulas universitarias.....	16
Figura 6. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto	17
Figura 7. Uso de ventanales de vidrio y marcos de acero	18
Figura 8. Azotea del edificio	18
Figura 9. Fachada del edificio	19
Figura 10. Estrategia estructural aplicada.	19
Figura 11. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto	19
Figura 12. Remodelación de edificio 1020	20
Figura 13. Intervenciones sobre estructura existente	21
Figura 14. Bloque + prótesis apilada.....	21
Figura 15. Bloque + prótesis apilada.....	22
Figura 16. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto	22
Figura 17. Remodelación de edificio Laureano Echandi	23
Figura 18. Fibra de carbono en Vigas	24
Figura 19. Aplicación de fibras de carbono en vigas	24
Figura 20. Estrategias pasivas utilizadas en el proyecto	25
Figura 21. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto	25
Figura 22. Metodología de investigación aplicada en el proyecto.	32
Figura 23. Ubicación del ITCR.....	50
Figura 24. Ubicación del edificio G5.....	50

Figura 25. Propuesta de preliminar del Proyecto: Clúster Demostrativo.....	52
Figura 26. Recopilación fotográfica alrededor del G5	60
Figura 27. Recopilación fotográfica alrededor del G5	61
Figura 28. Humedad relativa mensual en porcentaje.....	64
Figura 29. Radiación incidente expresada en w/m2 por día.....	65
Figura 30. Soleamiento efectivo.....	66
Figura 31. Rosa de los vientos.....	68
Figura 32. Proyección solar sobre el G5 el 21 de junio a las 9:00h.	69
Figura 33. Proyección solar sobre el G5 el 21 de junio a las 12:00h.	70
Figura 34. Proyección solar sobre el G5 el 21 de junio a las 15:00h.	70
Figura 35. Proyección solar sobre el G5 el 21 de diciembre a las 9:00h.....	71
Figura 36. Proyección solar sobre el G5 el 21 de diciembre a las 12:00h.....	71
Figura 37. Proyección solar sobre el G5 el 21 de diciembre a las 15:00h.....	72
Figura 38. Proyección solar sobre el G5 el 21 de marzo a las 9:00h.	72
Figura 39. Proyección solar sobre el G5 el 21 de marzo a las 12:00h.....	73
Figura 40. Proyección solar sobre el G5 el 21 de marzo a las 15:00h.....	73
Figura 41. Proyección solar sobre el G5 el 22 de setiembre a las 9:00h.....	74
Figura 42. Proyección solar sobre el G5 el 22 de setiembre a las 12:00h.....	74
Figura 43. Proyección solar sobre el G5 el 22 de setiembre a las 15:00h.....	75
Figura 44. Clasificación de la zona de vida de la estación 73123 – Cartago, Estación Tecnológico de Costa Rica.....	76
Figura 45. Especies características del Bosque Húmedo Premontano.....	77
Figura 46. Carta bioclimática de Givoni.....	78
Figura 47. Tablas de Mahoney.....	80
Figura 48. Organizar espacios de uso diurno con funciones específicas que coincidan con la orientación solar.....	105
Figura 49. Uso de materiales claros y techos con alta emisividad para minimizar la ganancia de calor conducida hacia el interior del edificio.	106
Figura 50. Promover la ventilación natural.....	107
Figura 51. Facilitar la ventilación cruzada.....	108
Figura 52. Reducir o eliminar el uso de ventanas orientadas hacia el oeste.....	108
Figura 53. Orientación del edificio	109
Figura 54. Orientación del edificio	110
Figura 55. Pared verde edificio Gardenia en Nunciatura, San José.	111
Figura 56. Sistema de recolección de agua pluvial	112
Figura 57. Uso de paneles fotovoltaicos	113
Figura 58. Propuesta integral de distribución funcional y circulaciones proyectadas para el Segundo Nivel.....	114
Figura 59. Propuesta integral de circulaciones proyectadas para el Segundo Nivel.....	114
Figura 60. Propuesta integral de distribución de espacios al lado Norte del edificio, para el Segundo Nivel.....	116
Figura 61. Propuesta integral de distribución de aulas para el Segundo Nivel.....	118
Figura 62. Propuesta integral de distribución de espacios al lado Oeste del edificio, para el Segundo Nivel.....	119
Figura 63. Propuesta integral de distribución funcional y circulaciones proyectadas para el Tercer Nivel.....	121
Figura 64. Propuesta integral de circulaciones proyectadas para el Tercer Nivel	122
Figura 65. Propuesta integral de distribución de espacios de coliving y coworking para el Tercer Nivel.....	124
Figura 66. Propuesta de pilas y servicios sanitarios para el Tercer Nivel.....	125

Figura 67. Propuesta integral de distribución de oficinas y el laboratorio de cómputo para el Tercer Nivel.....	126
Figura 68. Pared móvil cerrada (rieles)	129
Figura 69. Pared móvil abierta (rieles)	129
Figura 70. Pared móvil con ruedas del proveedor Tecnimuebles	130
Figura 71. Ventanas corredizas	130
Figura 72. Ventana abatible.....	131
Figura 73. Funcionamiento mecánico de los parasoles	132
Figura 74. Funcionamiento mecánico de los parasoles	133
Figura 75. Ventilación natural.....	134
Figura 76. Iluminación natural y ventilación natural en espacios internos	135
Figura 77. Pared verde.....	136
Figura 78. Sistema Akasison para captación de agua pluvial en techos.....	138
Figura 79. Sistema semienterrado para captación de agua pluvial	138
Figura 80. Sistema fotovoltaico Sylvania Costa Rica	139
Figura 81. Resultados extraídos de PVGIS	140
Figura 82. Sistema fotovoltaico para el proyecto	141
Figura 83. Distribución de columnas estructurales en el Primer Nivel	142
Figura 84. Distribución de columnas estructurales en el Segundo Nivel.....	142
Figura 85. Distribución de columnas estructurales en el Tercer Nivel.....	143
Figura 86. Distribución de vigas estructurales en el Primer Nivel	144
Figura 87. Distribución de vigas estructurales en el Segundo Nivel	144
Figura 88. Distribución de vigas estructurales en el Tercer Nivel	145
Figura 89. Distribución de cargas de entepiso en el Primer Nivel	146
Figura 90. Distribución de cargas de entepiso en el Segundo Nivel.....	146
Figura 91. Verificación del modelo estructural de las vigas y columnas del Primer Nivel.....	148
Figura 92. Verificación del modelo estructural de las vigas y columnas del Segundo Nivel.....	149
Figura 93. Verificación del modelo estructural de las vigas y columnas del Tercer Nivel	149
Figura 94. Verificación general del modelo estructural de las vigas y columnas.	149
Figura 95. Vista de la recepción en 3D	151
Figura 96. Vista de la recepción en 3D	152
Figura 97. Vista de la oficina del Director, con acceso a la sala de reuniones	154
Figura 98. Sala de reuniones anexo a la oficina del Director...155	
Figura 99. Vista de la sala de reuniones.....	156
Figura 100. Vista interior del aula 1.....	157
Figura 101. Vista interior del aula 2.....	158
Figura 102. Vista interior del aula 3.....	159
Figura 103. Vista interior del laboratorio de cómputo	160
Figura 104. Vista interna de una oficina	161
Figura 105. Vista interna de una oficina	162
Figura 106. Vista interna de los baños para mujeres.....	163
Figura 107. Vista interna de los baños para hombres	163
Figura 108. Vista del comedor en el segundo nivel	164
Figura 109. Vista desde el puente hacia el pasadizo principal, segundo nivel.	165
Figura 110. Vista del núcleo de escaleras	166
Figura 111. Vista hacia salida de emergencia	167
Figura 112. Vista del coworking.....	168
Figura 113. Vista del coworking.....	169
Figura 114. Vista del coworking.....	170
Figura 115. Vista del coworking con los paneles móviles cerrados.	171
Figura 116. Vista del coworking con paneles móviles parcialmente cerrados.....	172

Figura 117. Vista del coworking con los paneles movibles abiertos	173
Figura 118. Vista del coliving	175
Figura 119. Vista del coliving	176
Figura 120. Vista del coliving	177
Figura 121. Vista exterior con puente que conecta al CIVCO, costado sureste.....	179
Figura 122. Vista exterior desde el costado noroeste	180
Figura 123. Vista exterior desde el costado norte	181
Figura 124. Vista exterior desde el costado suroeste.....	182

Índice de cuadros

Cuadro 1. Cuadro de objetivos.....	5
Cuadro 2. Análisis de normativas y códigos versus necesidades de la EICO	11
Cuadro 3. Aportes de los estudios de caso al proyecto	26
Cuadro 4. Etapas de la metodología de investigación.....	37
Cuadro 5. Necesidades espaciales y funcionales con áreas mínimas para la propuesta de diseño	45
Cuadro 6. Cuadro comparativo de sistemas constructivos.....	92
Cuadro 7. Posibles proveedores de concreto estructural.....	95
Cuadro 8. Posibles proveedores de acero estructural	96
Cuadro 9. Posibles proveedores de aluminio	97
Cuadro 10. Posibles proveedores de paredes livianas	98
Cuadro 11. Posibles proveedores de mampostería.....	99
Cuadro 12. Posibles proveedores de concreto.....	99
Cuadro 13. Posibles proveedores de madera.....	100
Cuadro 14. Posibles proveedores de láminas PVC	100
Cuadro 15. Posibles proveedores de vidrio.....	101
Cuadro 16. Selección y justificación de la elección de materiales a utilizar en el proyecto	103
Cuadro 17. Presupuesto estimado	190

Índice de gráficos

Gráfico 1. Temperatura mínima, media y máxima anual de Estación Tecnológico de Costa Rica.....	63
Gráfico 2. Precipitación y humedad anual de Estación Tecnológico de Costa Rica.....	63
Gráfico 3. Radicación solar anual de Estación Tecnológico de Costa Rica.	64
Gráfico 4. Velocidad del viento anual de Estación Tecnológico de Costa Rica.	67
Gráfico 5. Encuesta de condiciones actuales de los espacios físicos de la EICO	84

Introducción

La infraestructura universitaria contemporánea enfrenta el reto de responder simultáneamente a exigencias funcionales, ambientales, normativas y pedagógicas cada vez más complejas. Como lo menciona CONARE (2019), para propiciar aprendizajes significativos en los estudiantes son necesarias mejoras sustantivas en las condiciones materiales, organizativas y de gestión en los ambientes de aprendizaje.

Bajo esta perspectiva, los edificios universitarios ya no pueden entenderse únicamente como contenedores físicos de actividades, sino como componentes estratégicos dentro de una visión integral de sostenibilidad, resiliencia y transformación institucional. Esta premisa adquiere especial relevancia en contextos tropicales como el costarricense, donde factores como la radiación solar, la humedad, la ventilación natural y el consumo energético inciden de forma determinante en el desempeño ambiental de las edificaciones.

En este marco se sitúa la presente investigación, cuyo objeto de estudio es el edificio G5 del Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicado en el Campus Tecnológico Central Cartago.

El proyecto parte del reconocimiento de que la infraestructura actualmente utilizada por la Escuela de Ingeniería en Construcción presenta limitaciones que afectan el confort ambiental, la funcionalidad espacial y la posibilidad de crecimiento ordenado de la unidad académica. Entre los principales problemas detectados, con base a la encuesta realizada a docentes y estudiantes de la EICO se encuentran la carencia de ventilación cruzada efectiva, el uso intensivo de iluminación artificial por insuficiente aprovechamiento de luz natural y una organización interna poco flexible para las dinámicas contemporáneas de docencia, gestión e interacción académica.

La necesidad de intervención también se relaciona con los procesos de crecimiento y reorganización de la infraestructura universitaria impulsados por el ITCR dentro del Plan Maestro Campus Tecnológico Central Cartago 2020–2035, cuyo objetivo

general consiste en normar las intervenciones espaciales del campus para garantizar un crecimiento ordenado y equilibrado, así como la protección y conservación del entorno natural del campus (ITCR, 2020). En este contexto, el proyecto se plantea como una oportunidad para fortalecer las condiciones espaciales y ambientales del edificio desde un enfoque arquitectónico y bioclimático

Ante esta situación, la investigación propone desarrollar un anteproyecto arquitectónico para la ampliación y remodelación del edificio G5, mediante la incorporación de un segundo y tercer nivel destinados a albergar la Escuela de Ingeniería en Construcción.

La propuesta no se limita a resolver una necesidad de superficie construida, sino que se concibe como una intervención estratégica orientada a mejorar el desempeño ambiental del edificio, optimizar sus relaciones funcionales y consolidar espacios más flexibles, accesibles y adaptables a los cambios en los modelos pedagógicos y administrativos.

La metodología aplicada a este proyecto permite integrar el análisis del sitio, las necesidades de los usuarios, la revisión normativa, los estudios de caso y los criterios bioclimáticos en una propuesta arquitectónica fundamentada. Así, el proyecto articula variables técnicas, ambientales y sociales para construir una

respuesta pertinente al contexto institucional y climático del ITCR.

En este proceso, el análisis bioclimático adquiere un papel central, al evidenciar que el proyecto debe priorizar estrategias asociadas al control solar, la ventilación cruzada, la reducción de cargas internas y el manejo de la humedad, más que a soluciones de calefacción o masa térmica pesada, lo cual orienta la propuesta hacia una arquitectura ligera, ventilada y sombreada.

En consecuencia, esta investigación busca demostrar que la ampliación del edificio G5 puede convertirse en una oportunidad para replantear la infraestructura de la EICO desde una lógica sostenible, coherente con las necesidades actuales de la Escuela y con la visión de desarrollo del campus universitario. Más allá de una respuesta física inmediata, el proyecto aspira a aportar una base conceptual y proyectual para futuras decisiones institucionales sobre infraestructura educativa sostenible en Costa Rica.

Problema

Según el director de la Escuela de Ingeniería en Construcción del ITCR, la infraestructura actual de la Escuela presenta múltiples deficiencias desde el punto de vista ambiental como funcional, lo que repercute negativamente en la calidad del ambiente educativo (Araya, J.A., comunicación personal, 7 de mayo del 2025). Estas carencias reflejan una falta de integración de criterios de sostenibilidad en el diseño original del edificio, lo cual contrasta con el compromiso institucional del ITCR hacia la eficiencia energética, el confort ambiental y la mejora continua de sus espacios académicos.

Este desfase se hace aún más evidente al considerar que, de acuerdo la Guía para la elaboración del Plan Maestro del Campus Tecnológico Central Cartago 2020-2035, uno de los objetivos es *“Proponer diseños sostenibles, seguros y resilientes (urbanos y/o arquitectónicos) que ayuden al medio ambiente y que mejoren el bienestar de la comunidad estudiantil y de funcionarios”*. La infraestructura actual del edificio, no se alinea con este objetivo,

pues presenta condiciones que comprometen tanto la sostenibilidad como la calidad ambiental interior.

Estas deficiencias pueden agruparse en los siguientes aspectos:

- El edificio carece de ventilación cruzada efectiva, lo cual provoca una acumulación de calor y disminuye la calidad del aire interior en los espacios cerrados. Esta condición no solo afecta el confort térmico de los estudiantes, docentes y personal administrativo, sino que también puede influir en la concentración y el rendimiento académico, especialmente en climas tropicales como el de Cartago.
- La escasa entrada de luz natural obliga al uso constante de iluminación artificial durante el día, lo que produce dos efectos: un incremento innecesario del consumo energético y la reducción de la calidad ambiental interior afectando el bienestar visual de estudiantes, docentes y personal administrativo.

- En cuanto a la configuración espacial, la actual distribución fragmentada de cubículos y oficinas limita la comunicación directa entre docentes y dificulta la creación de espacios de trabajo abiertos y colaborativos. Esta disposición restringe las oportunidades de interacción académica espontánea, lo que reduce la fluidez de la asesoría, el acompañamiento docente y el trabajo interdisciplinario. Para los estudiantes, esto significa menos acceso a entornos de aprendizaje flexibles y menos estímulos para la colaboración y el intercambio de ideas.
- El diseño arquitectónico del edificio obliga al uso constante de iluminación artificial, incluso durante el día, debido a la falta de control sobre la entrada de luz natural. Esta situación se ve agravada cuando se requiere el uso de proyectores, ya que es necesario oscurecer completamente los espacios mediante cortinas, lo que genera un ambiente cerrado y poco confortable para quienes lo utilizan.

En conjunto, estas deficiencias en ventilación, iluminación natural y distribución espacial generan un entorno con bajo confort ambiental y alto consumo energético, afectando la salud, el bienestar y el rendimiento académico. La infraestructura actual

evidencia limitaciones en términos de flexibilidad, accesibilidad y adaptación a las dinámicas contemporáneas de enseñanza-aprendizaje, particularmente en un contexto climático tropical que requiere estrategias pasivas y espacios más eficientes, saludables y ambientalmente adecuados.

Alcance

La presente investigación se centra en el desarrollo de una propuesta de diseño arquitectónico a nivel de anteproyecto para la ampliación y remodelación del edificio existente G5 del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), ubicado en el campus central en Cartago. La propuesta abordará el diseño arquitectónico de una segunda y tercera planta, destinadas a albergar la Escuela de Ingeniería en Construcción.

Integra de forma exhaustiva estrategias pasivas y activas de diseño sostenible orientadas a optimizar el confort ambiental, mejorar la funcionalidad de los espacios y reducir el consumo de recursos energéticos. Las estrategias consideradas incluyen el aprovechamiento de la planta existente, maximizar el uso de la luz natural, el diseño para ventilación eficiente, la optimización de la orientación del edificio, y la mejora de la calidad de la envolvente

(fachadas y cubierta) con materiales y sistemas adecuados para el clima tropical.

El resultado principal de este proyecto es un conjunto de planos arquitectónicos (plantas, secciones, elevaciones) de los nuevos niveles, que ilustren la propuesta de diseño y las estrategias sostenibles incorporadas. Como parte integral del alcance, se incluye el modelado tridimensional del diseño en Autodesk Revit.

La finalidad de este trabajo es académica y proyectual, por lo que se delimita específicamente al desarrollo del anteproyecto arquitectónico, sin contemplar:

- El diseño estructural, eléctrico, mecánico ni de detalle constructivo.
- La elaboración de presupuestos de ejecución o cronogramas de obra.

- Estudios de factibilidad técnica, económica o legal.

Si bien la intervención no contempla modificaciones sustanciales en la planta existente del edificio G5, podría incorporar ajustes puntuales para integrar conexiones tanto verticales como horizontales (escaleras, ascensores, pasillos) o realizar refuerzos estructurales necesarios para la correcta articulación de los nuevos niveles.

Esta propuesta de anteproyecto arquitectónico responde no solo a una necesidad física inmediata, sino también a una visión estratégica a largo plazo que busca consolidar espacios integrados, ambientalmente responsables y alineados con los valores de la institución. Diseñar y posteriormente construir una segunda y tercera planta en el edificio G5 permite resolver la actual escasez de espacios para la Escuela de Ingeniería en Construcción, facilitando su crecimiento académico y fortaleciendo su proyección futura.

Limitaciones

- Dependencia de datos climáticos promedio para las simulaciones, sin posibilidad de mediciones climáticas in situ.
- Dificultad para encontrar un archivo EPW con datos climáticos cercanos al sitio donde se realizará el proyecto.
- Variaciones en las necesidades de la Escuela de Ingeniería en Construcción durante el desarrollo del proyecto podrían afectar el enfoque o la organización espacial.
- Dificultad para la recolección de datos cualitativos (entrevistas) con docentes, estudiantes o administrativos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una propuesta arquitectónica de ampliación y remodelación del edificio G5, para albergar la Escuela de Ingeniería en Construcción, optimizando su desempeño ambiental, funcionalidad y comunicación interna, considerando el contexto bioclimático y normativo del campus.

Objetivos Específicos

OBE 1. Analizar las condiciones físicas del sitio, las necesidades espaciales de la Escuela de Ingeniería en Construcción y los criterios de sostenibilidad aplicables al edificio G5, con el fin de establecer las bases técnicas, funcionales y ambientales para una propuesta de ampliación y remodelación arquitectónica sostenible.

OBE 2. Proponer un conjunto de estrategias pasivas y activas de intervención espacial, fundamentadas en el análisis bioclimático y funcional para optimizar el confort ambiental y la eficiencia energética del edificio.

OBE 3. Plantear los planos del anteproyecto y el modelo 3D de la ampliación y remodelación del G5, integrando las estrategias pasivas y activas de diseño para maximizar el confort ambiental y el aprovechamiento de luz natural de la Escuela de Ingeniería en Construcción.

Propuesta de ampliación y remodelación sostenible del edificio G5 de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica.			
<i>Desarrollar una propuesta de ampliación y remodelación del edificio G5, destinada a convertirse en la Escuela de Ingeniería en Construcción, optimizando su desempeño ambiental, funcionalidad y comunicación interna, considerando el contexto bioclimático y normativo del campus.</i>			
Objetivo	Producto	Actividad	Tiempo
OBE 1. Analizar las condiciones físicas del sitio, las necesidades espaciales de la Escuela de Ingeniería en Construcción y los criterios de sostenibilidad aplicables al edificio G5, con el fin de establecer las bases técnicas, funcionales y ambientales para una propuesta de ampliación y remodelación arquitectónica sostenible.	Bases técnicas, funcionales y ambientales para la propuesta de diseño	-Análisis de casos similares que se han realizado en el país o en la región para determinar el sistema constructivo -Análisis del edificio actual para identificar limitaciones y oportunidades en la propuesta de diseño (Planos existentes del G5) -Aplicación de entrevistas para conocer las necesidades espaciales de la EICO -Levantamiento y análisis de condiciones físicas del sitio (topografía, clima, orientación).	3 semanas Del 31 de julio 2025 al 16 de agosto 2025
OBE 2. Proponer un conjunto de estrategias pasivas y activas de intervención espacial, fundamentadas en el análisis bioclimático y funcional para optimizar el confort ambiental y la eficiencia energética del edificio.	Estrategias pasivas y activas de diseño para la intervención espacial.	-Evaluación y selección de materiales a utilizar, de bajo impacto ambiental que garanticen la funcionalidad del edificio. -Evaluación funcional de espacios para optimizar circulación y uso eficiente de energía. -Definición de estrategias pasivas para optimizar confort térmico y lumínico	2 semanas Del 17 de agosto 2025 al 27 de agosto 2025
OBE 3. Plantear los planos del anteproyecto y el modelo 3D de la ampliación y remodelación del G5, integrando las estrategias pasivas y activas de diseño para maximizar el confort ambiental y el aprovechamiento de la luz natural de la Escuela de Ingeniería en Construcción.	-Modelo tridimensional en Revit Autodesk -Planos arquitectónicos detallados	-Desarrollar el modelo tridimensional, integrando las estrategias pasivas y activas con criterios funcionales, espaciales y de sostenibilidad. -Elaborar el conjunto de planos arquitectónicos	4 semanas Del 28 de agosto 2025 al 23 de setiembre 2025

Cuadro 1. Cuadro de objetivos, productos, actividades y tiempos

Estado del Arte

El esfuerzo global por reducir el cambio climático mediante la neutralidad de carbono enfrenta un obstáculo importante en la construcción, ya que según Dejtiar (2024), este es un sector que actualmente genera casi el 40% de las emisiones mundiales de CO₂, y cuya cifra se espera siga en aumento.

En este contexto, adoptar prácticas sostenibles es crucial para mejorar las condiciones ambientales de las ciudades y los campus universitarios, donde los objetivos principales se centran en optimizar el confort térmico, reducir el consumo energético y generar entornos saludables para la comunidad educativa.

En esta línea, se empieza a consolidar el concepto de arquitectura regenerativa, entendido no solo como mitigación del impacto, sino como una estrategia que busca restaurar ecosistemas, mejorar la resiliencia y generar beneficios sociales, económicos y ambientales de manera simultánea (Gattupalli, 2023).

La arquitectura sostenible se ha consolidado como un eje central en la transformación de los espacios educativos a nivel global y

regional. Este campo ha dejado de centrarse únicamente en la eficiencia energética para convertirse en una visión integral que abarca lo ambiental, lo social y lo económico. De hecho, según Gattupalli (2023), los edificios universitarios deben ser concebidos como sistemas vivos, capaces de adaptarse y evolucionar en conexión con el entorno natural y con las comunidades que los utilizan.

Los campus universitarios, por la magnitud de su infraestructura y por la diversidad de actividades que albergan, representan un laboratorio ideal para aplicar modelos de sostenibilidad. Además, el sector educativo es uno de los ámbitos prioritarios para la reducción de emisiones y la resiliencia urbana, ya que concentra grandes flujos de personas y requiere condiciones ambientales óptimas para el aprendizaje.

En esta línea, Zapata, Quiceno y Tabares (2016) señalan que el más grande desafío de la educación superior es la actualización de la infraestructura de los campus universitarios en vista de que,

dada la trayectoria y antigüedad de las instituciones educativas, su infraestructura puede estar desactualizada para cumplir con los requerimientos, tanto técnicos como normativos, necesarios para asumir los desafíos de la sustentabilidad. Este planteamiento resalta la urgencia de transformar los espacios educativos existentes en modelos más eficientes, seguros y sostenibles.

En este sentido, la ampliación del edificio G5 para la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO), se enmarca en un contexto donde la sostenibilidad universitaria constituye no solo una tendencia, sino una necesidad ineludible, alineada con las políticas nacionales e internacionales en materia de educación superior y cambio climático.

Panorama nacional y regional de la arquitectura universitaria sostenible

En el contexto de Costa Rica, el documento *Desafíos de la educación en Costa Rica y aportes de las universidades públicas* (CONARE, 2019) establece que los ambientes de aprendizaje e infraestructura universitaria constituyen un componente esencial para mejorar la calidad educativa.

La ampliación y renovación de los espacios físicos no solo debe responder a la demanda de matrícula, sino también a nuevos modelos pedagógicos híbridos que integran la presencialidad con

la virtualidad. Así, los campus universitarios se convierten en nodos estratégicos de innovación, sostenibilidad y resiliencia.

En cuanto a tendencias internacionales, la literatura académica resalta la relevancia de los edificios regenerativos en campus universitarios. Rodríguez y Cobreros (2022) plantean que el paradigma de la arquitectura regenerativa invita a concebir los edificios como sistemas complejos que no solo mitiguen impactos negativos, sino que restablezcan su conexión con la naturaleza, promuevan conciencia ambiental y favorezcan la regeneración ecológica, cultural y social.

Sin embargo, los desafíos son significativos, Dejtár (2024) señala que los principales desafíos que enfrentan las universidades al intentar implementar estrategias de emisiones cero incluyen la financiación insuficiente, la resistencia al cambio y la falta de infraestructura adecuada. Esto refleja la necesidad de acompañar la innovación arquitectónica con políticas institucionales y mecanismos financieros sólidos.

Implementación de aspectos de sostenibilidad en espacios educativos

La implementación de sostenibilidad en espacios educativos va más allá de la incorporación de tecnologías eficientes; requiere un enfoque integral que abarque lo físico, lo social, lo pedagógico y lo institucional. De esta manera, la sostenibilidad se convierte en

un eje transversal que orienta tanto la planificación del campus como las dinámicas de enseñanza y aprendizaje.

Como señalan Zapata, Quiceno y Tabares (2016):

La programación de gestiones encaminadas al desarrollo de un campus universitario sustentable debe enfrentarse a una autoevaluación que permita a la institución reconocer deficiencias físicas, tecnológicas, intelectuales y de recursos, y a su vez consolidar potenciales, de manera que se determinen con más precisión las primeras acciones que deben llevarse a cabo (políticas administrativas, modificaciones en planes educativos, compromiso institucional) para dar inicio a un proceso responsable y eficiente.

Este enfoque plantea que la sostenibilidad universitaria debe asumirse como un proceso continuo de mejora, en el cual se evalúan permanentemente las condiciones del campus, la infraestructura existente y las posibilidades de innovación, con el fin de alinear los recursos institucionales hacia metas de largo plazo. Así, el campus deja de entenderse únicamente como un conjunto de edificios y se concibe como un ecosistema dinámico donde convergen comunidad, conocimiento y ambiente.

Asimismo, resulta fundamental reconocer la importancia de la flexibilidad y adaptabilidad de los espacios universitarios. Las

instituciones de educación superior requieren edificios capaces de evolucionar junto con los cambios pedagógicos y tecnológicos, integrando áreas colaborativas, espacios de coworking, laboratorios híbridos y zonas de socialización que promuevan la innovación y la interacción interdisciplinaria.

La ampliación y renovación de los espacios físicos no solo debe responder a la demanda de matrícula y a modelos pedagógicos híbridos que integran presencialidad y virtualidad, sino también a las transformaciones contemporáneas en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Actualmente, los modelos pedagógicos universitarios incorporan enfoques de aprendizaje activo, evaluación auténtica y construcción de aprendizajes significativos, lo cual requiere espacios más flexibles, dinámicos y adaptables a distintas metodologías educativas.

En la misma línea, la Revista Código (2016) resalta que cada vez son más las universidades que se suman a incorporar la sustentabilidad como parte de su cultura y de su arquitectura, dando lugar a espacios innovadores que motivan el aprendizaje. La responsabilidad social y ambiental de la arquitectura determina que se considere el impacto en la naturaleza desde el bocetaje, retomando tradiciones, materiales, técnicas de construcción, conceptos orgánicos y la incorporación de distintas tecnologías a los proyectos. Este planteamiento subraya que la sostenibilidad debe integrarse desde las primeras

fases del diseño arquitectónico, asegurando coherencia entre la infraestructura y su contexto.

Por otra parte, resulta esencial integrar criterios de bienestar humano en los proyectos universitarios, considerando factores como iluminación natural, ventilación cruzada, confort acústico y accesibilidad universal, de acuerdo con la Ley 7600 en Costa Rica. Estos aspectos no solo favorecen la eficiencia energética, sino que también impactan positivamente en la salud y el rendimiento académico de estudiantes y docentes.

Finalmente, respecto a las edificaciones universitarias sostenibles, Urueta y Betancur (2021) resaltan que los recientes aportes realizados por diversos autores señalan la sostenibilidad como factor principal dentro de las participaciones de construcción de estructuras sostenibles, como la reducción de gastos administrativos en las universidades. Esto implica que las universidades que invierten en eficiencia energética, sistemas de gestión de agua, materiales de bajo impacto y estrategias de mantenimiento preventivo no solo disminuyen sus costos de operación, sino que además fortalecen su capacidad de resiliencia frente a fluctuaciones económicas y climáticas.

En un contexto de restricciones presupuestarias como el que enfrentan las universidades públicas en Costa Rica, estas prácticas representan una oportunidad estratégica para garantizar la continuidad de los servicios educativos sin comprometer la

calidad. La sostenibilidad, por tanto, deja de ser un gasto adicional y se convierte en una inversión inteligente que multiplica beneficios a lo largo del ciclo de vida de la edificación.

Marcos normativos y técnicos

El siguiente cuadro presenta un análisis de la normativa y los códigos aplicables al proyecto EICO, destacando su relevancia, hallazgos, ventajas, limitaciones y posibles oportunidades de solución. Cada normativa se evalúa en términos de cómo impacta la seguridad, funcionalidad, accesibilidad, sostenibilidad y organización espacial del proyecto, permitiendo identificar estrategias que aseguren el cumplimiento legal sin restringir la innovación en el diseño arquitectónico. Este enfoque facilita una visión integral para integrar criterios técnicos y de diseño, promoviendo soluciones flexibles, inclusivas y eficientes dentro del contexto específico de la EICO.

Cuadro 2. Análisis de normativas y códigos versus necesidades de la EICO

Normativa/ Código	Relevancia para EICO	Hallazgos	Ventajas	Limitaciones	Oportunidades de solución
<i>Reglamento de Construcciones</i>	Seguridad estructural, funcionalidad y criterios mínimos ambientales	Garantiza que las edificaciones cumplan con requisitos básicos de seguridad y funcionalidad	Estándares claros para diseño estructural y accesibilidad	Puede ser rígido en cuanto a innovaciones espaciales o distribución flexible de aulas	Uso de soluciones modulares y estructuras ligeras para flexibilidad, sin comprometer seguridad
<i>Ley 7600</i>	Accesibilidad universal en todos los espacios	Obliga a garantizar rampas, baños accesibles, circulaciones amplias	Facilita inclusión y movilidad para personas con discapacidad	Incrementa la ocupación de espacio para cumplir con dimensiones mínimas	Integrar rampas y accesos dentro del diseño de circulaciones y patios, optimizando el espacio vertical y horizontal
<i>Código Sísmico de Costa Rica</i>	Protección estructural frente a sismos	Requiere elementos estructurales reforzados y dimensionados adecuadamente	Seguridad de ocupantes, confianza en la infraestructura	Puede limitar diseño de grandes ventanales o cubiertas ligeras sin refuerzos adicionales	Uso de sistemas híbridos (concreto + madera/metálico) para mantener apertura y confort sin comprometer seguridad
<i>NFPA 101</i>	Seguridad humana, evacuación y protección contra incendios	Define rutas de evacuación, salidas de emergencia y sistemas contra incendios	Mayor seguridad y cumplimiento normativo	Puede generar recorridos más largos y consumo de espacio para escaleras y salidas	Diseño de evacuación integrado con circulaciones naturales, salidas dobles y escaleras compactas
<i>Normativa ITCR / Plan Maestro</i>	Organización espacial, armonía con campus, sostenibilidad	Establece restricciones de altura, volumetría y áreas verdes	Garantiza coherencia visual y ambiental con el campus	Puede limitar densificación o ubicación de edificios	Posibilidad de diseños escalonados para maximizar uso de terreno sin afectar volumetría

<i>Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias</i>	Sistemas de agua y saneamiento	Requiere diseño eficiente de redes y puntos de uso	Seguridad sanitaria y cumplimiento normativo	Puede limitar la ubicación de baños y cocinas por redes existentes	Uso de sistemas compactos y modulares, redes verticales integradas en núcleos técnicos
<i>Edificios para la Educación Pública y Privada (Decreto Ejecutivo N°41103-MEP)</i>	Define los criterios obligatorios de diseño arquitectónico para infraestructura educativa (espacios, áreas, condiciones ambientales, seguridad y funcionamiento)	Establece requisitos específicos sobre dimensionamiento de aulas según cantidad de estudiantes, iluminación natural y artificial adecuada, ventilación cruzada, condiciones de confort térmico, distribución funcional de espacios.	Garantiza ambientes adecuados para el aprendizaje, seguridad, salubridad y bienestar de estudiantes; promueve condiciones mínimas de calidad espacial y ambiental en todos los centros educativos	Puede limitar la libertad de diseño al exigir parámetros fijos (áreas mínimas por estudiante, configuraciones espaciales tradicionales, requisitos técnicos estrictos)	Aplicar diseño bioclimático (optimización de iluminación y ventilación natural), uso de aulas modulares y flexibles, integración de espacios multipropósito y adaptación del diseño para cumplir normativa sin perder innovación

Análisis de proyectos arquitectónicos (Casos de estudio)

En esta sección se presentan y analizan proyectos de referencia de Costa Rica y la región con el objetivo de extraer aprendizajes que puedan orientar el desarrollo de la propuesta arquitectónica. El análisis se centra en tres ejes principales:

- 1. Enfoque estructural:** Identificar los sistemas constructivos empleados en cada caso, evaluando su eficiencia, adaptabilidad y pertinencia para una posible aplicación en el contexto de la EICO, considerando las restricciones y requerimientos del Código Sísmico de Costa Rica.
- 2. Enfoque arquitectónico:** Estudiar la organización espacial, la funcionalidad de los ambientes y las soluciones de fachada, con el fin de reconocer estrategias que favorezcan la integración estética con el entorno.

- 3. Selección de materiales:** Explorar los materiales utilizados en los proyectos de referencia, valorando sus propiedades técnicas, sostenibilidad, disponibilidad y adecuación a las necesidades del proyecto.

El propósito de este análisis es generar insumos que permitan fundamentar las decisiones de diseño y construcción de la propuesta arquitectónica, tomando como guía experiencias exitosas y contextualizándolas a la realidad institucional y local.

Caso 1. Ampliación del CEIP Alzaga Ikastola – Erandio, España

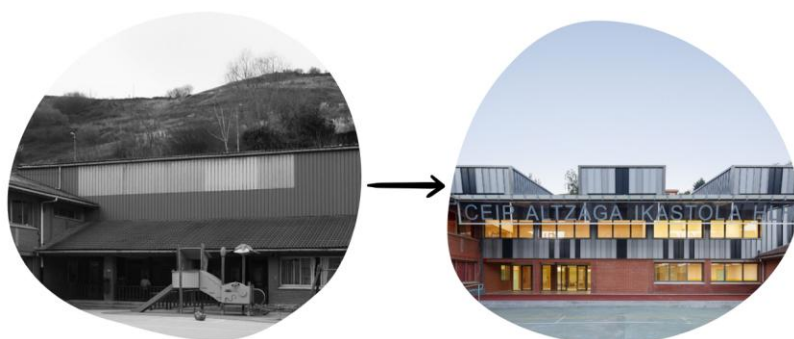
Ubicación: España

Área construida: 2.054 m² (ampliación)

Año: 2018

Uso del edificio: Educativo

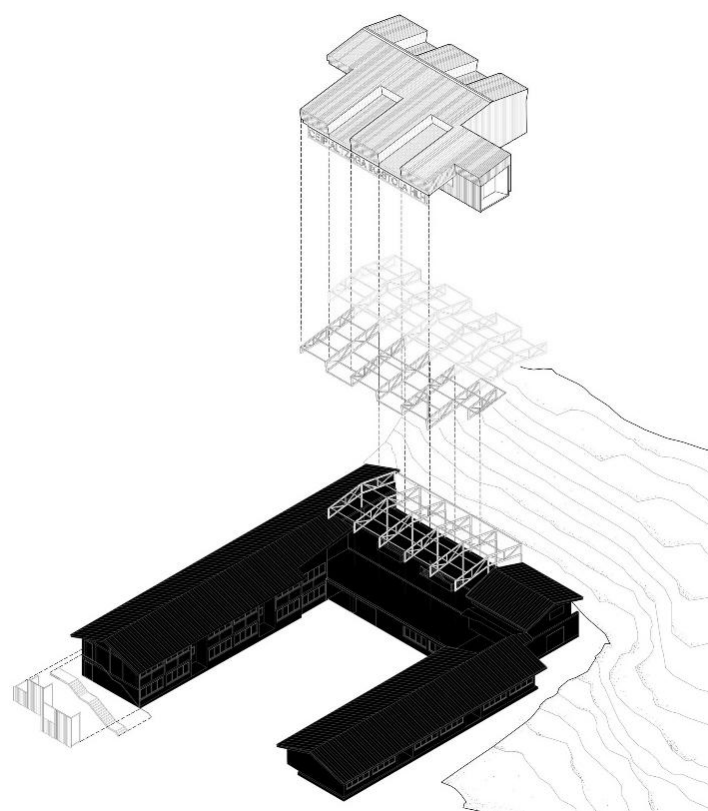
Figura 1. Antes y después de la remodelación y ampliación de la Escuela CEIP Alzaga Ikastola.



Nota. Adaptado de ArchDaily (2019).

Contexto: Edificio escolar existente (1988) con un gimnasio superpuesto y cimentación profunda en toda su extensión. El proyecto consistió en ampliar la edificación incluyendo 3 aulas, adaptando recorridos, incorporando ascensor y salidas de evacuación según normativa.

Figura 2. Ensamblaje utilizado en el proyecto



Nota. Se recopila de La casa de la Arquitectura (s.f.).

Objetivo constructivo: Añadir volumen sobre la huella existente evitando nuevas cimentaciones profundas, reutilizando en lo posible la estructura previa (gimnasio)

Intervención: Se eliminó el gimnasio en el primer nivel, así como de sus servicios anexos (vestuarios, cuarto de limpieza y almacén). De este modo, se logra ampliar en tres unidades las

aulas ordinarias y adaptar el programa de usos generales y comunes. (Iza, 2017)

Figura 3. Espacios agregados al proyecto con la remodelación.



Nota. Adaptado de ArchDaily (2019).

integralmente; se construye sobre ellas con intervenciones puntuales.

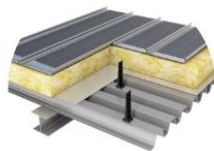
- Las vigas metálicas fueron transformadas en cerchas para aumentar luces libres y reubicar apoyos, permitiendo desplazamientos compatibles con nuevas fachadas en la fachada oeste.
- La nueva envolvente consistió en fijaciones sobre la subestructura metálica, instalación de perforados y cerramientos.
- Las instalaciones interiores se realizaron con cerramientos ligeros y tabiquería móvil.

Sobre sistema constructivo:

- La intervención se limitó al volumen sobre la huella existente, evitando nuevas cimentaciones profundas o alterar los límites originales del edificio.
- El proyecto reutiliza la estructura metálica y cimentaciones profundas del gimnasio existente sin demolerlas

Materiales utilizados

Figura 4. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto



**Estructura de techo con
aislante térmico Katzip**



**Cerramientos de
aluminio Katzip**



Pisos marmoleum



Paredes livianas



**Perfiles de acero para
la estructura**



Aislamiento acústico

Nota. Adaptado de Referencia Kalzip (s.f.)

Caso 2. Centro Regional Camoapa - Managua, Nicaragua

Ubicación: Nicaragua

Año: 2024

Uso del edificio: Educativo

Objetivo del proyecto: Construcción de cinco aulas sobre el pabellón de aulas existente (adición de 2ª planta). El proyecto incluye reemplazo de estructuras de concreto por otras de mayor dimensión, ejecución de losa de entrepiso, estructura y cubierta de techo.

En los alcances indicados se prevén demoliciones localizadas de columnas y sus cimientos en ejes puntuales (listado de ejes en las especificaciones), por lo que la obra no es solo “añadir un piso liviano”: implica actuaciones sobre la estructura existente. UNA (2024)

Sobre sistema constructivo:

- **Estructura vertical:** Reemplazo y/o refuerzo de elementos de concreto existentes por nuevos elementos de mayor dimensión (vigas/columnas de concreto armado según planos).
- **Losa de entrepiso:** Se especifica una losa monolítica de 5" (≈ 127 mm), con concreto de 3,500 PSI y acero de refuerzo en ambas direcciones.
- **Envoltente y cubierta:** Estructura de techo y cubierta de zinc para el nuevo nivel; interiores con cielos falsos de plywood u otros, y acabados según especificaciones.

Figura 5. Ampliación de aulas universitarias.



Nota. Adaptado de Universidad Nacional Agraria (2024)

Materiales utilizados:

Figura 6. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto



Paredes livianas



Perfiles de acero para la estructura de techo



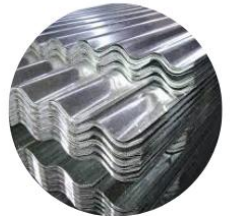
Formaleta



Concreto estructural



Varillas de acero



Láminas de zinc

Nota. Elaboración propia.

Caso 3. Córdoba Re Urbano - Ciudad de México, México.

Ubicación: México

Área construida: 2.200 m²

Uso: Mixto

Contexto: El proyecto parte de una casona histórica en abandono tras el sismo de 1985; su entorno tiene un subsuelo lodoso que amplifica las ondas sísmicas, generando hundimientos diferenciales y alta vulnerabilidad estructural.

En lugar de demoler, los arquitectos buscaron conservar prácticamente toda la edificación original, incluyendo su estructura espacial y materialidad. AchDaily (2015)

Figura 7. Uso de ventanales de vidrio y marcos de acero



Nota. Se recopila de AchDaily (2015)

Distribución de Niveles:

- Planta baja: locales comerciales
- Primera planta: Oficinas
- Pisos superiores: Nueve viviendas de distintas configuraciones.
- Azotea con huerto urbano que beneficia tanto residentes como comunidad local.

Figura 8. Azotea del edificio



Nota. Se recopila de AchDaily (2015)

Detalle constructivo:

- Se ampliaron dos plantas sobre la estructura existente, incluyendo un medio nivel excavado y niveles adicionales, pasando de un nivel a hasta tres en algunas zonas
- La primera planta añadida está totalmente acristalada, aligerando visualmente la adición y diferenciando claramente lo nuevo de lo viejo.

- El nivel superior se resuelve como una secuencia de terrazas y volúmenes independientes, introduciendo vacío arquitectónico que "hilvana" torres pequeñas en lugar de un bloque monolítico.

Figura 9. Fachada del edificio



Nota. Se recopiló de AchDaily (2015)

Estrategia estructural

- Se vació el volumen central y se creó un nuevo patio interior, disminuyendo el peso estructural y corrigiendo el centro de

gravedad, lo que mejoró la estabilidad sobre el terreno. Este vacío también actúa como núcleo de circulación, ventilación y articulación entre todos los niveles.

- La intervención aprovecha la cimentación existente, evitando obra nueva pesada, lo que milita a favor de una reconstrucción ligera y sensible.

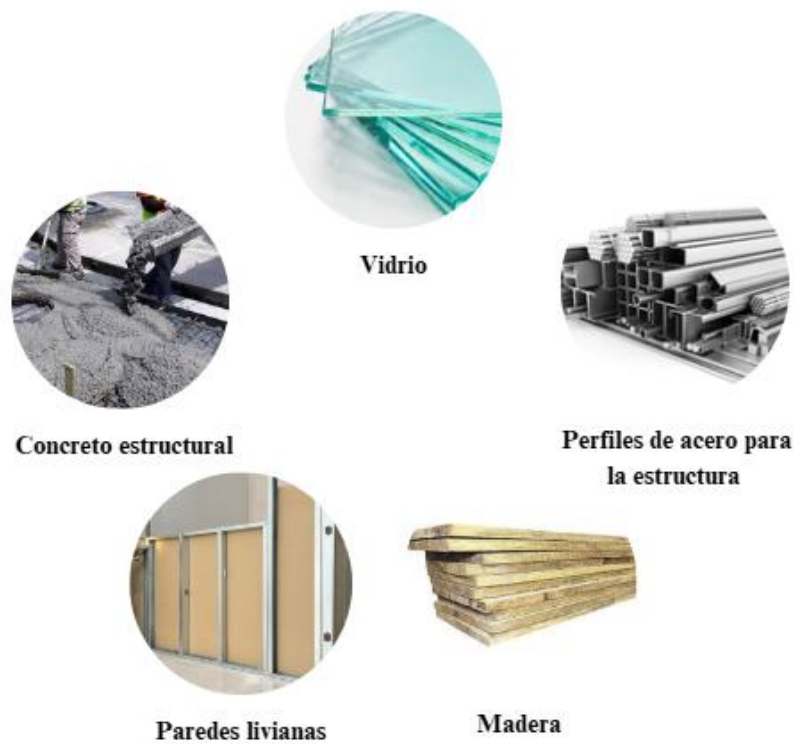
Figura 10. Estrategia estructural aplicada.



Nota. Adaptado de AchDaily (2015)

Materiales utilizados:

Figura 11. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto



Nota. Elaboración propia.

Caso 4. Remodelación Caupolicán I y II. Temuco, Chile

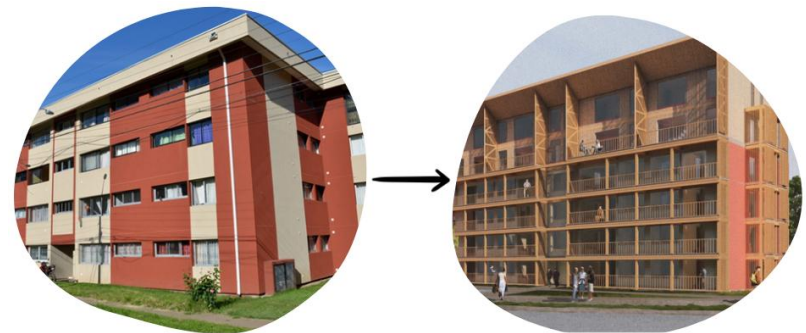
Ubicación: Chile

Año: 2023

Uso: Habitacional

Contexto: El conjunto habitacional Caupolicán I y II, construido en la década de 1970, fue remodelado para mejorar su habitabilidad, eficiencia energética y condiciones estructurales. El proyecto propone utilizar como soporte los conjuntos colectivos de baja densidad habitacional de los bloques 1010 y 1020, para edificar sobre ellos y generar nuevos espacios habitacionales dentro de la ciudad. El objetivo es densificar sin necesidad de expandir la mancha urbana hacia la periferia.

Figura 12. Remodelación de edificio 1020

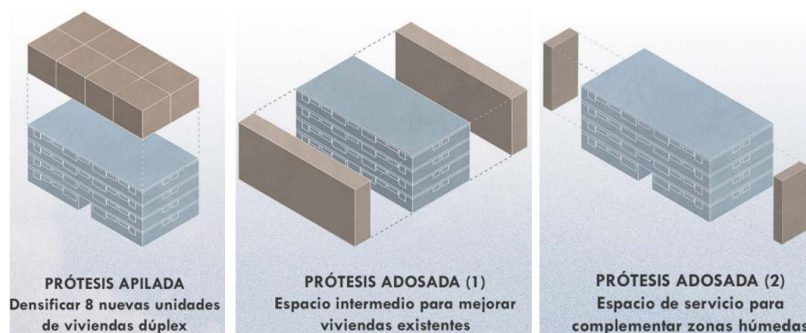


Nota: Adaptado con base a imágenes recopiladas de Fehling y Silva (2023)

La remodelación llevó a cabo 3 tipos de intervenciones a modo de “prótesis” sobre la estructura existente:

1. **Prótesis Apilada:** Se busca densificar los bloques existentes, implementando 8 nuevas unidades de viviendas dúplex normadas bajo el DS-49 mediante 2 nuevos pisos.
2. **Prótesis adosada (1):** Se proporciona un espacio intermedio para las viviendas existentes.
3. **Prótesis adosada (2):** Se brinda un espacio de servicio tanto para las viviendas existentes como para las nuevas viviendas.

Figura 13. Intervenciones sobre estructura existente

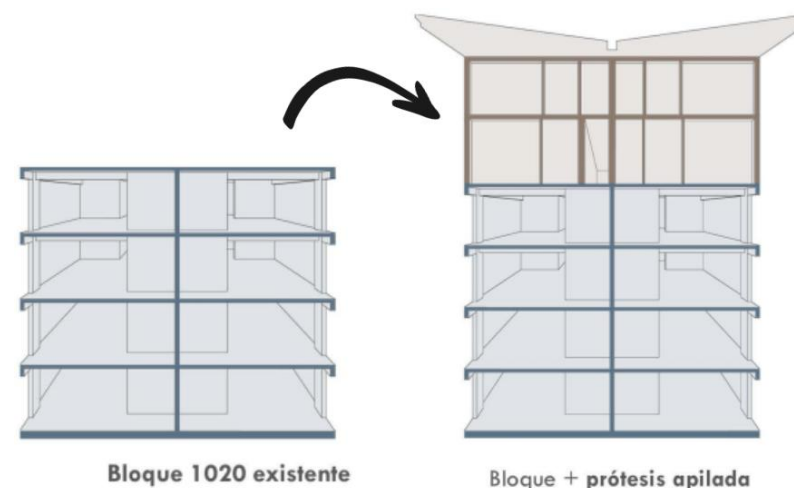


Nota. Recuperado de Fehling y Silva (2023)

Sistema constructivo:

- **Para la prótesis apilada:** Se basa en una plataforma construida con paneles prefabricados de entramado ligero. El proceso inicia con el desmontaje del techo existente y la exposición de la losa original, la cual se nivela con mortero para servir como base estructural. Posteriormente, se montan en seco los paneles prefabricados, conformando nuevas unidades dúplex sobre la estructura preexistente, lo que permite un proceso rápido y ligero.

Figura 14. Bloque + prótesis apilada

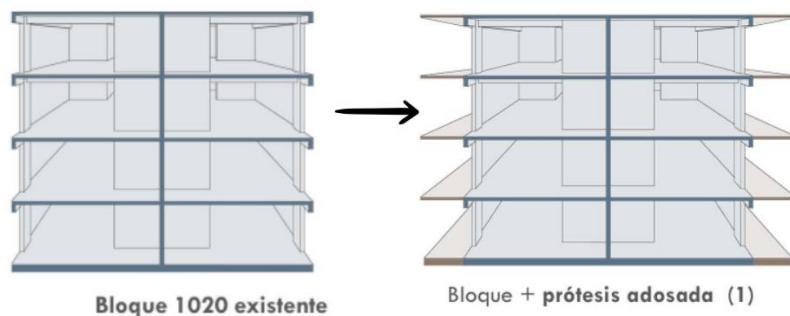


Nota: Adaptado con base a imágenes recopiladas de Fehling y Silva (2023)

- **Para las prótesis adosadas (1) y (2):** Se utiliza una estructura de pilar-viga en madera laminada contrachapada. Para su implementación, se abren aperturas en el edificio original que permiten la conexión con la nueva estructura.

Una vez instalado el sistema pilar-viga, se genera un espacio intermedio que amplía la habitabilidad de los departamentos originales, funcionando como extensión lateral y complemento de las unidades existentes.

Figura 15. Bloque + prótesis apilada



Nota: Adaptado de Fehling y Silva (2023)

Materiales utilizados:

Figura 16. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto



Nota. Elaboración propia.

Caso 5. Edificio Laureano Echandi. San José, Costa Rica

Ubicación: Costa Rica

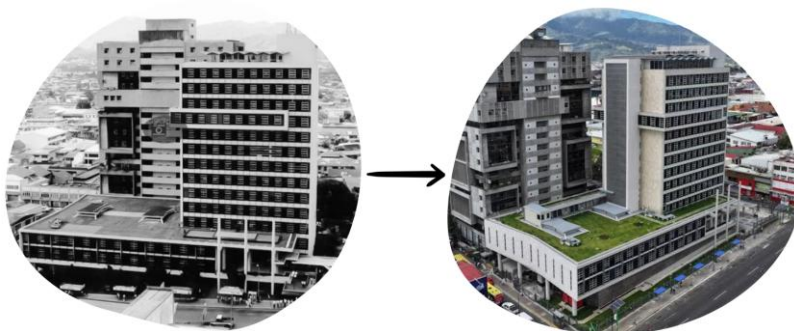
Año: 2024

Uso: Hospitalario

Área: 14 000 m²

Contexto: Este edificio se construyó en 1962 y se inauguró en 1966, por lo tanto, no cumplía con la última actualización del Código Sísmico de Costa Rica, lo que hizo necesario ejecutar un proyecto de reforzamiento estructural y readecuación electromecánica y arquitectónica.

Figura 17. Remodelación de edificio Laureano Echandi



Nota: Elaboración propia.

La intervención se orientó a garantizar la seguridad sísmica de la estructura, prolongar su vida útil y adecuarla a la normativa técnica y funcional vigente.

A nivel arquitectónico, se reorganizaron los espacios internos para optimizar su funcionalidad, se mejoraron las condiciones de accesibilidad de acuerdo con la Ley 7600 y se incorporaron estrategias sostenibles, orientadas a la eficiencia energética y al cumplimiento de estándares internacionales como la certificación EDGE.

Sistema constructivo: Reforzamiento estructural con reforzamiento en fibra de carbono en muros y vigas.

Esta técnica permitió aumentar la capacidad portante de los elementos estructurales sin necesidad de incrementar significativamente el peso propio de la edificación, lo cual resultaba fundamental para un edificio existente de más de cincuenta años de antigüedad.

Ventajas de este tipo de reforzamiento: Su alta resistencia y durabilidad, la reducción del tiempo de intervención en comparación con métodos tradicionales de refuerzo en concreto o acero, y la mínima afectación a los espacios interiores gracias a su espesor reducido.

Además, la fibra de carbono ofreció flexibilidad de aplicación, adaptándose a distintos tipos de geometrías, y contribuyó a prolongar la vida útil del edificio, asegurando su cumplimiento con el Código Sísmico vigente y mejorando sus condiciones de seguridad estructural.

Figura 18. Fibra de carbono en Vigas



Nota: Recopilado de Canal Marco Avalos Dittel (2023)

Figura 19. Aplicación de fibras de carbono en vigas



Nota: Recopilado de Canal Marco Avalos Dittel (2023)

Estrategias pasivas y activas implementadas para lograr la certificación EDGE:

Según Ramírez (2024), se implementaron las siguientes estrategias pasivas y activas para lograr una edificación sostenible:

- **Terraza verde:** En el proyecto se incorpora vegetación (césped y arbustos) que ayudan a disminuir la isla de calor urbana, reducen la transmisión de calor hacia el interior del edificio y contribuyen al manejo de aguas pluviales.
- **Ventanas eficientes:** Se instalaron ventanas de doble vidrio que disminuyen la ganancia de calor solar, mejoran el aislamiento térmico y reducen la necesidad de climatización activa.
- **Control solar mediante volumetría:** La volumetría original del edificio se mantiene, pero el diseño de las fachadas y la orientación favorecen la protección contra la radiación directa del sol, reduciendo la carga térmica.
- **Optimización de la luz natural:** La implementación de ventanas de alto rendimiento y la orientación del edificio permiten un aprovechamiento eficiente de la luz natural, reduciendo la dependencia de iluminación artificial.
- **Paneles solares:** Los paneles fotovoltaicos en la azotea generan energía limpia y, adicionalmente, funcionan como

protección parcial contra la radiación solar directa sobre la cubierta.

- **Diseño arquitectónico con principio de terraza-jardín:** Recupera elementos de la arquitectura moderna que favorecen la ventilación natural y contribuyen al microclima interno, reduciendo la necesidad de sistemas de enfriamiento artificial.

Figura 20. Estrategias pasivas utilizadas en el proyecto



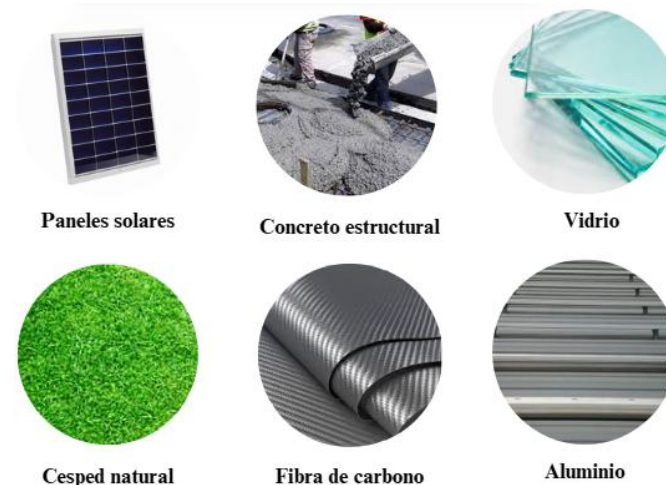
Nota: Adaptado con base a imágenes recopiladas de Ramírez (2024)

Con base a estas y otras estrategias mecánicas y eléctricas implementadas, Ramírez (2024) menciona que el edificio logró los siguientes resultados en la evaluación EDGE:

- ✓ Proyección de **38%** en ahorro en el consumo de energía contra la línea base.
- ✓ Proyección de **44%** en ahorro en el consumo de agua contra la línea base.
- ✓ Proyección de **56%** en ahorro en el consumo de energía incorporada en materiales contra la línea base.

Materiales utilizados:

Figura 21. Ejemplos de materiales utilizados en el proyecto



Nota. Elaboración propia

Aportes de los estudios de caso al proyecto

A continuación, se presentan los principales aportes identificados a partir del análisis de los estudios de caso seleccionados, los cuales permiten establecer criterios de referencia aplicables al desarrollo del proyecto de ampliación y remodelación del edificio CECO.

Cuadro 3. Aportes de los estudios de caso al proyecto

Caso de Estudio	Descripción	Aporte al proyecto
<i>C1. Ampliación del CEIP Alzaga Ikastola – Erandio, España</i>	Este proyecto demuestra cómo intervenir sobre una edificación existente mediante una estructura metálica ligera e independiente, evitando sobrecargar la construcción original. El uso de cerramientos ligeros como fachadas ventiladas y grandes paños de vidrio disminuyó el peso total y mejoró tanto el confort térmico como la iluminación natural.	-Relevancia de emplear un sistema estructural autónomo y liviano, que facilite futuras ampliaciones o adecuaciones sin comprometer la estructura original, además de mantener la planta baja libre y flexible para distintos usos. -El uso de fachadas ventiladas y grandes superficies acristaladas mejoró el confort térmico, redujo la carga estructural y potenció la iluminación natural, generando ambientes más saludables y eficientes.
<i>C2. Centro Regional Camoapa – Managua, Nicaragua</i>	Aquí se combinó concreto y acero estructural para lograr un edificio resistente, adaptado a condiciones sísmicas y climáticas. Los cerramientos no estructurales permitieron reorganizar los espacios interiores sin sobrecargar la estructura.	Se muestra la importancia de integrar soluciones estructurales sólidas que permitan ampliaciones verticales, aprovechando cerramientos ligeros y flexibles para reorganizar espacios sin comprometer la resistencia del sistema principal.
<i>C3. Córdoba Re Urbano – Ciudad de México, México</i>	La intervención se basó en reforzar los apoyos con acero y añadir una estructura metálica independiente para nuevas plantas, aligerando la edificación mediante un “vaciamiento central” que mejoró	-Subraya la conveniencia de aligerar la estructura existente antes de intervenir, preservar materiales originales cuando es posible, y utilizar uniones estructurales flexibles que permitan absorber movimientos sísmicos, garantizando la seguridad estructural.

	ventilación e iluminación natural. Se combinaron materiales contemporáneos (vidrio, concreto, acero) con la restauración de la mampostería original.	-El vaciamiento central fue clave para generar ventilación cruzada e iluminación natural, mejorando la habitabilidad. -La combinación de materiales contemporáneos con la conservación de la mampostería original permitió un equilibrio entre modernidad y preservación del valor histórico.
C4. Remodelación Caupolicán I y II – Temuco, Chile	Se implementaron tres tipos de “prótesis” sobre la estructura existente: la prótesis apilada con paneles prefabricados de entramado ligero para nuevos pisos dúplex, y las prótesis adosadas con estructura pilar-viga de madera laminada para ampliar lateralmente viviendas.	Evidencia el valor de la prefabricación liviana y montaje en seco para acelerar intervenciones sobre estructuras existentes, minimizar cargas adicionales y mejorar la habitabilidad mediante ampliaciones tanto verticales como laterales.
C5. Edificio Laureano Echandi – San José, Costa Rica	El proyecto incluyó un reforzamiento estructural con fibra de carbono en muros y vigas, garantizando seguridad sísmica sin añadir peso significativo. Además, integró estrategias sostenibles como terraza verde, ventanas de doble vidrio, paneles solares y optimización de la luz natural, lo que permitió alcanzar la certificación internacional EDGE.	-Resalta la aplicación de tecnologías modernas de reforzamiento liviano (fibra de carbono) para prolongar la vida útil de estructuras existentes bajo el cumplimiento normativo. -Se combinaron criterios de sostenibilidad con la integración de terrazas verdes, paneles solares, ventanas de doble vidrio y estrategias de iluminación natural. Esto no solo prolongó la vida útil de la edificación, sino que elevó su confort ambiental y permitió obtener certificación EDGE, vinculando patrimonio arquitectónico con eficiencia energética.

Previo a la definición de las estrategias proyectuales, resulta fundamental identificar aquellos criterios ambientales que contribuyen al desempeño sostenible de la edificación. En este sentido, los casos analizados evidencian la importancia de incorporar estrategias pasivas como la iluminación natural, la ventilación cruzada, el control solar y la reducción de isla de calor, con el fin de mejorar el confort térmico y lumínico de los espacios.

Cuadro 4. Criterios ambientales aplicados al diseño arquitectónico

Criterio	Estrategia de diseño	Aplicación en el proyecto	Referencia de caso
Iluminación natural	Uso de ventanales amplios, lucernarios y fachadas acristaladas controladas	Reducción del consumo energético en iluminación artificial	Caso 1, Caso 5
Ventilación cruzada	Incorporación de patios internos y vacíos centrales	Mejora del confort térmico sin dependencia de sistemas mecánicos	Caso 3
Control solar	Uso de aleros, celosías y doubles fachadas	Disminución de carga térmica en aulas y oficinas	Caso 5
Reducción de isla de calor	Cubiertas verdes y uso de vegetación	Mejora del microclima del edificio	Caso 5

Los criterios estructurales y constructivos analizados permiten reconocer distintas estrategias orientadas a garantizar la viabilidad técnica de intervenciones sobre edificaciones existentes. A partir de los estudios de caso, se identifican soluciones como el uso de

Cuadro 5. Criterios estructurales y constructivos

sistemas estructurales livianos, la reutilización de elementos existentes, la prefabricación y la implementación de tecnologías de refuerzo estructural eficiente. A continuación, se detalla el aporte de cada caso en el proyecto.

Criterio	Estrategia de diseño	Aplicación en el proyecto	Referencia de caso
Sistemas estructurales livianos	Uso de acero, madera o sistemas híbridos	Facilita ampliaciones futuras y reduce carga estructural	Caso 1, Caso 2
Reutilización estructural	Aprovechamiento de cimentaciones existentes	Disminución del impacto ambiental y costos constructivos	Caso 1, Caso 3
Prefabricación	Paneles modulares y montaje en seco	Reducción de tiempos de obra y residuos	Caso 4
Refuerzo estructural eficiente	Uso de fibra de carbono u otras tecnologías	Mejora del desempeño sísmico sin incrementar peso	Caso 5

La eficiencia en el uso de recursos constituye uno de los ejes fundamentales dentro del enfoque de sostenibilidad aplicado al proyecto. Los estudios de caso evidencian cómo la incorporación de estrategias de eficiencia energética, optimización de

iluminación natural y utilización de materiales sostenibles permite reducir el impacto ambiental de las edificaciones, al tiempo que mejora su desempeño operativo y funcional.

Cuadro 6. Criterios de eficiencia de recursos

Criterio	Estrategia de diseño	Aplicación en el proyecto	Referencia de caso
Eficiencia energética	Paneles solares y diseño bioclimático	Reducción del consumo energético del edificio	Caso 5
Optimización de iluminación	Integración de luz natural + control artificial	Disminución de consumo eléctrico	Caso 1, Caso 5
Materiales sostenibles	Uso de materiales locales y reciclables	Reducción de huella de carbono del edificio	Caso 4

Los cuadros anteriores permiten traducir los principios de sostenibilidad en criterios de diseño concretos y verificables, los cuales se derivan tanto del análisis teórico como de los estudios de caso. Esta sistematización facilita su aplicación directa en el

desarrollo del anteproyecto arquitectónico de la EICO, asegurando que las decisiones de diseño respondan a condiciones ambientales, estructurales, funcionales y pedagógicas de manera integrada.

Metodología

La metodología de investigación para este proyecto se determina como: **Cualitativa, proyectual aplicada.**

A continuación, se definen y se justifican los conceptos de investigación aplicados en este proyecto:

Investigación cualitativa: Los estudios cualitativos se caracterizan por estar enfocados en los sujetos y sus conductas adoptadas, el proceso de indagación es tipo inductivo, y el investigador está en constante interacción con los participantes y con los datos, para de esta forma encontrar las respuestas

centradas en la experiencia social y cuál es su significado en la vida de las personas. (Alán y Cortez, 2018, p. 76)

La investigación cualitativa se justifica en este proyecto porque permite comprender la experiencia de los usuarios (docentes, estudiantes, personal administrativo) respecto al funcionamiento, confort, eficiencia y limitaciones de la Escuela actual. Mediante entrevistas, observación directa y revisión documental, se busca interpretar cómo se vive el espacio educativo, qué necesidades espaciales y ambientales emergen y cuáles son las percepciones sobre aspectos como ventilación, iluminación, accesibilidad, seguridad y flexibilidad de los espacios.

Esta información es esencial para que la propuesta de anteproyecto arquitectónico sea significativo, contextualizado y sensible a los usuarios reales del espacio. La perspectiva cualitativa permite integrar factores subjetivos y socioculturales que no pueden captarse con datos numéricos.

Investigación proyectual: Es una teoría, metodología y técnica de generación, recepción e interpretación de la producción arquitectónica, basada en una epistemología que despliega Variables e Indicadores tomados de la historia de la cultura disciplinar, actualizada al momento contemporáneo y situada en el contexto de intervención (Fiscarelli y Cremaschi, s.f., p. 3)

Con base a lo anterior, la investigación proyectual se justifica porque permite convertir las deficiencias detectadas en lineamientos de diseño y estos a su vez en una propuesta arquitectónica concreta. Por medio de esta metodología, los insumos obtenidos a través del análisis bioclimático, las entrevistas a los usuarios y la revisión normativa se traducen en un anteproyecto arquitectónico que integra estrategias pasivas y activas de diseño sostenible.

Este tipo de investigación proyectual permite integrar criterios de sostenibilidad ambiental en la propuesta de anteproyecto como modulación, flexibilidad de espacios y uso de materiales reciclables o de bajo impacto ambiental, además de variables de gestión del ciclo de vida de la edificación, resiliencia ante el cambio climático y reducción de la huella de carbono por medio de una propuesta de diseño arquitectónico. De este modo, la propuesta arquitectónica no solo responde a las necesidades académicas actuales, sino que se alinea con el Plan Maestro Institucional 2020–2035 y con las exigencias globales de sostenibilidad.

Investigación aplicada: Según Vargas (2009), son experiencias de investigación con propósitos de resolver o mejorar una situación específica o particular, para comprobar un método o

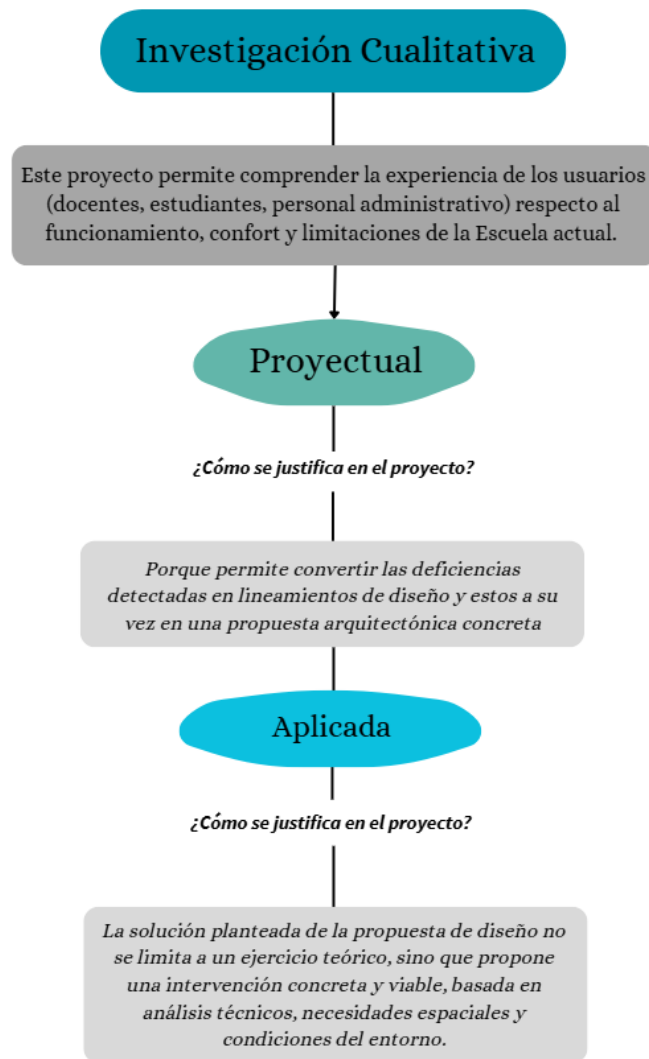
modelo mediante la aplicación innovadora y creativa de una propuesta de intervención.

En este proyecto, este tipo de investigación se justifica por su capacidad de abordar de manera concreta los retos ambientales de la infraestructura educativa, proponiendo soluciones que minimicen el impacto ambiental y promuevan la sostenibilidad por medio de estrategias pasivas y activas de diseño.

Este proyecto se alinea con la necesidad real de una ampliación y remodelación funcional y sostenible para la Escuela de Ingeniería en Construcción del ITCR. La solución planteada de la propuesta de diseño no se limita a un ejercicio teórico, sino que propone una intervención concreta y viable, basada en análisis técnicos, necesidades espaciales bajo las condiciones del entorno.

La estructura jerárquica de los tipos de investigación se detalla en la siguiente figura:

Figura 22. Metodología de investigación aplicada en el proyecto.



Nota. Elaboración propia
Etapas de la metodología

El proceso metodológico del proyecto se organiza en etapas secuenciales que permiten avanzar de un diagnóstico inicial hacia la formulación de una propuesta arquitectónica fundamentada. Cada fase responde a la necesidad de estructurar el trabajo de manera lógica y estructurada para que, de esta forma, se asegure la coherencia entre el problema identificado, los objetivos planteados y los resultados alcanzados.

Etapas 1: Diagnóstico del problema y análisis contextual

Esta etapa constituye el punto de partida del proceso investigativo y proyectual donde el propósito es recopilar y organizar información sobre el edificio G5, su estado actual y su entorno inmediato para comprender de manera integral las condiciones físicas, espaciales, ambientales y funcionales.

Esta etapa inicial actúa como una base sólida para justificar la necesidad de la intervención y orientar el diseño hacia una respuesta ajustada a la realidad institucional y del sitio.

- Actividades principales:
 - Revisión documental (Plan Maestro del ITCR, Normativa Urbana del ITCR, planos constructivos del G5, entre otros)
 - Levantamiento físico del edificio (espacios, orientación, condiciones actuales).

- Entrevistas a docentes, estudiantes o personal administrativo para recopilar información sobre necesidades espaciales de la EICO.
- Aplicación de una encuesta digital dirigida a docentes, estudiantes y personal administrativo de la EICO, con el fin de identificar deficiencias actuales y expectativas relacionadas con el traslado al G5.

Detalles de la encuesta a realizar:

Como parte del proceso metodológico, se aplica una encuesta digital de carácter descriptivo dirigida a docentes, estudiantes y personal administrativo de la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO).

El instrumento consiste en un cuestionario estructurado compuesto por preguntas cerradas y abiertas.

Las preguntas cerradas permiten recopilar información relacionada con aspectos de confort ambiental, iluminación natural, ventilación, organización espacial y funcionalidad de los espacios, mientras que las preguntas abiertas permiten obtener observaciones y recomendaciones de los usuarios respecto a posibles mejoras en la infraestructura.

La encuesta se aplica mediante una plataforma digital a una muestra no probabilística por conveniencia, integrada

por usuarios activos de la Escuela.

La información recopilada se utiliza como insumo cualitativo para la definición de criterios de diseño y la toma de decisiones arquitectónicas dentro del desarrollo del anteproyecto.

La encuesta realizada se adjunta en el Anexo 3.

- Entregables generados:
 - Diagnóstico del estado actual del G5
 - Registro fotográfico y esquemático del levantamiento físico y del entorno alrededor del G5
 - Matriz de necesidades espaciales y funcionales de la EICO.
 - Informe de resultados de la encuesta aplicada a la comunidad académica de la EICO.
- Herramientas:
 - Plan Maestro 2020-2035
 - Normativa Urbana ITCR
 - Planos existentes del G5
 - Revit Autodesk para el modelo tridimensional del G5.
 - Cámara fotográfica para las visitas a sitio
 - Plantilla de visita a sitio en Excel
 - Notas para entrevistas

- Formulario de Google (Google Forms) para el diseño, aplicación y análisis de la encuesta.

Etapas 2: Análisis bioclimático y funcional

Se estudian las condiciones climáticas y físicas del sitio donde se emplaza el G5, con el fin de orientar el diseño de la nueva ampliación y remodelación de la EICO. El análisis se centra en variables bioclimáticas para definir estrategias pasivas y activas que optimicen el confort ambiental de los nuevos niveles. Asimismo, se revisan las necesidades funcionales y espaciales de la EICO, proyectándolas en una organización espacial eficiente que favorezca la interacción académica y el uso racional de la energía.

- Actividades principales:
 - Recolección y análisis de datos climáticos de Cartago (temperatura, humedad, radiación solar, vientos predominantes).
 - Proyección de circulaciones, relaciones entre espacios y conectividad vertical con el edificio existente.
 - Identificación de oportunidades para incorporar ventilación natural, iluminación diurna y control solar en el diseño de la ampliación.

- Entregables generados:
 - Informe de análisis bioclimático aplicado a la propuesta de anteproyecto.
 - Mapas y diagramas de asoleamiento, ventilación y comportamiento lumínico para las nuevas plantas.
 - Esquemas preliminares de distribución funcional y circulaciones proyectadas.
- Herramientas:
 - Archivos climáticos de Cartago, Costa Rica (EPW)
 - Software de simulación Climate Consultant
 - Bioclimarq 2023
 - Entrevistas y matrices de necesidades espaciales para orientar la proyección funcional. (Ver Anexo 3)

Etapas 3: Formulación de estrategias de intervención

A partir del diagnóstico y del análisis bioclimático-funcional, se construye un conjunto de lineamientos de diseño que guiarán la propuesta de anteproyecto arquitectónica.

En esta etapa se seleccionan materiales, sistemas constructivos que garanticen el confort ambiental y la eficiencia energética de los nuevos espacios. Además, se formulan estrategias pasivas y

activas que permitan reducir el uso de recursos energéticos sin sacrificar la funcionalidad.

- Actividades principales:
 - Evaluación de materiales de bajo impacto ambiental.
 - Análisis de sistemas constructivos para implementar en la propuesta de diseño.
 - Selección de estrategias pasivas de ventilación, iluminación y confort térmico.
- Entregables generados:
 - Cuadro comparativo de materiales y sistemas constructivos con su selección del que se utilizará en el proyecto.
 - Diagramas esquemáticos de estrategias pasivas y activas.
- Herramientas:
 - Fichas técnicas de materiales.
 - Matriz comparativa de alternativas de diseño.

Etapas 4: Desarrollo de la propuesta de anteproyecto arquitectónico

En esta fase, los lineamientos de diseño se materializan en un anteproyecto arquitectónico.

El proceso integra las estrategias pasivas y activas definidas anteriormente, la reorganización espacial y funcionalidad que amplíe las capacidades del G5. El desarrollo se plasma en planos arquitectónicos (plantas, secciones, elevaciones) y en un modelo tridimensional en Autodesk Revit, que facilita la visualización del proyecto y su validación técnica.

- Actividades principales:
 - Desarrollo del anteproyecto arquitectónico (segunda y tercera planta).
 - Modelado tridimensional en Revit Autodesk.
 - Elaboración de planos arquitectónicos: plantas, secciones y elevaciones.
- Entregables generados:
 - Conjunto de planos arquitectónicos del anteproyecto.
 - Modelo tridimensional en Autodesk Revit.
 - Renders
 - Láminas de presentación de la propuesta.
- Herramientas:
 - Software Autodesk Revit, AutoCAD.
 - Software de representación gráfica (Illustrator,

Photoshop).

Incorporación de casos de estudio

Como parte del proceso metodológico, se incorporó el análisis de casos de estudio con el fin de identificar buenas prácticas aplicables al diseño de la ampliación del edificio G5. Estos referentes se seleccionaron principalmente en función de su tipología arquitectónica, su integración de estrategias sostenibles y la pertinencia de sus soluciones constructivas en relación con el contexto costarricense.

Los referentes seleccionados (principalmente edificios académicos y ampliaciones en vertical) se evaluaron según su desempeño en zonas sísmicas y su coherencia con estrategias de sostenibilidad, con el objetivo de preseleccionar un sistema que cumpla tanto con el Código Sísmico de Costa Rica vigente como con los lineamientos de diseño del proyecto.

En estos casos de estudio se valoró la integración arquitectónica de cada tipología, considerando luces y modulaciones estructurales compatibles con estrategias de ventilación cruzada, aprovechamiento de iluminación natural, flexibilidad de uso y eficiencia en la envolvente. Finalmente, las variables comparadas

abarcaron distintas tipologías constructivas: concreto reforzado, acero estructural (marcos y arriostrado con losas colaborantes), sistemas mixtos acero–concreto y madera, analizando sus ventajas y limitaciones frente al contexto del proyecto.

Este ejercicio comparativo no solo orientó la selección del sistema constructivo más adecuado, sino que también enriqueció la coherencia entre la estructura, la sostenibilidad y los lineamientos proyectuales definidos, aportando un sustento técnico y conceptual más sólido a la propuesta de anteproyecto arquitectónica para la ampliación y remodelación del G5.

Cuadro 7. Etapas de la metodología de investigación

Etapas	Actividad	Entregable	Herramientas
<i>Etapas 1: Diagnóstico del problema y análisis contextual</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Revisión documental -Levantamiento físico del edificio -Entrevistas para recopilar información sobre necesidades espaciales de la EICO. - Diseño y aplicación de una encuesta digital 	<ul style="list-style-type: none"> -Diagnóstico del estado actual del G5. -Registro fotográfico y esquemático del levantamiento físico y del entorno alrededor del G5 -Matriz de necesidades espaciales y funcionales de la EICO. - Informe de resultados de la encuesta aplicada a la comunidad académica de la EICO. 	<ul style="list-style-type: none"> -Plan Maestro 2020-2035 -Normativa Urbana ITCR -Planos existentes del G5 -Revit Autodesk para el modelo tridimensional del G5. -Cámara fotográfica para las visitas a sitio -Plantilla de visita a sitio -Notas para entrevistas. -Google Forms para la encuesta
<i>Etapas 2: Análisis bioclimático y funcional</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Recolección y análisis de datos climáticos de Cartago. -Proyección de circulaciones, relaciones entre espacios y conectividad vertical con el edificio existente. -Identificación de oportunidades para incorporar ventilación natural, iluminación diurna y control solar en el diseño de la ampliación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Informe de análisis bioclimático aplicado a la propuesta de anteproyecto. -Mapas y diagramas de asoleamiento y comportamiento lumínico del edificio. -Esquemas preliminares de distribución funcional y circulaciones proyectadas. 	<ul style="list-style-type: none"> -EPW de Cartago, Costa Rica -Climate Consultant -Bioclimarq 2023 -Entrevistas y matrices de necesidades espaciales
<i>Etapas 3: Formulación de estrategias de intervención</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de materiales de bajo impacto ambiental. -Análisis de sistemas constructivos -Selección de estrategias pasivas y activas de ventilación, iluminación y confort térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuadro comparativo de materiales y sistemas constructivos con su selección del que se utilizará en el proyecto. -Propuesta viable de sistema constructivo elegido (comprobación estructural). -Diagramas esquemáticos de estrategias pasivas y activas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Fichas técnicas de materiales. -Matriz comparativa de alternativas de diseño.
<i>Etapas 4: Desarrollo de la propuesta de anteproyecto arquitectónico</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Desarrollo del anteproyecto arquitectónico (segunda y tercera planta). -Modelado tridimensional en Revit Autodesk. -Elaboración de planos arquitectónicos: plantas, secciones y elevaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> -Conjunto de planos arquitectónicos del anteproyecto. -Modelo tridimensional en Autodesk Revit. -Renders 	<ul style="list-style-type: none"> -Autodesk Revit, AutoCAD. -Software de representación gráfica (Illustrator, Photoshop).

Propuesta

Análisis de las condiciones físicas del sitio, las necesidades espaciales de la Escuela de Ingeniería en Construcción y los criterios de sostenibilidad aplicables

1. Perfil de estudiantes, personal administrativo y docentes y sus requerimientos

El presente apartado tiene como objetivo caracterizar los principales perfiles que conforman la comunidad académica de la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO), así como identificar sus requerimientos funcionales, espaciales y operativos dentro del entorno universitario.

Este análisis se fundamenta en la comprensión de que el diseño arquitectónico de un edificio educativo debe responder de manera integral a las necesidades específicas de sus usuarios, considerando tanto sus dinámicas de uso como sus condiciones de permanencia en el espacio.

1.1. Definiciones de los perfiles

Se abordan tres perfiles fundamentales: estudiantes, personal administrativo y docentes, los cuales interactúan de forma

constante en el desarrollo de las actividades académicas, administrativas y de apoyo institucional. La adecuada identificación de estos perfiles permite establecer criterios de diseño que favorezcan la eficiencia funcional, el confort ambiental, la accesibilidad y la sostenibilidad del proyecto, contribuyendo directamente a la calidad del proceso educativo y al bienestar de la comunidad universitaria

Cada perfil posee particularidades en cuanto a sus actividades, tiempos de permanencia, movilidad y requerimientos espaciales, por lo que estas diferencias influyen directamente en la configuración de los espacios, el tipo de infraestructura necesaria y las estrategias de diseño que deben implementarse para garantizar un entorno adecuado, eficiente y adaptable a las dinámicas propias de la educación superior.

1.1.1. Estudiantes

Según la Real Academia Española (2001), un estudiante universitario es la persona que cursa enseñanzas oficiales en alguno de los tres ciclos universitarios, enseñanzas de formación continua u otros estudios ofrecidos por las universidades.

En el contexto de la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO), los estudiantes constituyen la población más dinámica dentro del espacio académico, ya que su presencia se da tanto en horario diurno como nocturno. Este grupo se distribuye en programas de licenciatura, así como en opciones de posgrado, lo cual amplía la diversidad de perfiles en cuanto a edad iniciando desde los 17 años en adelante, formación previa y necesidades académicas.

1.1.2. Personal administrativo

El personal administrativo engloba todo lo relacionado al manejo de documentación, atención al público, ejecución de tareas dentro de los departamentos, apoyo a otras dependencias, organización y planificación de actividades internas y externas, y todo lo relacionado a la gestión administrativa. (Euroinnova, 2025)

Según Arce et al. (2012) su actividad en el mismo espacio es fija ya que no se tienen que movilizarse a otros espacios, pueden utilizar los espacios complementarios, las oficinas y el auditorio.

El rol del personal administrativo es esencial para garantizar la operatividad cotidiana de la EICO y para brindar soporte tanto a estudiantes como a docentes en el desarrollo de sus funciones académicas.

1.1.3. Docentes

El personal docente es uno de los actores principales para alcanzar resultados de calidad en la educación (Chaves et al, 2023). Su función trasciende la transmisión de conocimientos, ya que también implica la investigación, la innovación pedagógica y la vinculación con la sociedad.

En el contexto universitario, los docentes interactúan con los estudiantes en diferentes modalidades: clases magistrales, trabajo práctico en laboratorios, tutorías y acompañamiento en proyectos de investigación. Además, su presencia en la institución suele ser de carácter mixto, combinando periodos de permanencia en aulas y oficinas con actividades académicas externas, como capacitaciones, congresos o proyectos de campo. Su perfil exige flexibilidad en el uso de espacios, así como acceso a recursos tecnológicos y áreas de apoyo académico que les permitan desarrollar su labor de forma efectiva.

1.2. Necesidades de los perfiles

Las necesidades de los distintos actores de la comunidad universitaria (estudiantes, personal administrativo y docentes) son diversas y responden tanto a su rol como a las funciones que desempeñan dentro de la institución de educación superior. Estas

necesidades no se limitan al ámbito académico, sino que incluyen aspectos de infraestructura, bienestar, accesibilidad, recursos tecnológicos y condiciones laborales que inciden directamente en la calidad del proceso educativo.

1.2.1. Estudiantes

Los estudiantes necesitan espacios que favorezcan el aprendizaje significativo, la interacción y su permanencia en la institución. Desde la perspectiva de la infraestructura, esto implica contar con aulas, laboratorios y espacios educativos que ofrezcan condiciones óptimas de iluminación, ventilación, acústica y mobiliario ergonómico, laboratorios, áreas de estudio colaborativo y espacios de recreación. Todo ello debe concebirse desde una visión holística que integre las necesidades educativas con las características del entorno, de manera que la arquitectura no solo responda a lo funcional, sino que también articule a los estudiantes con un ambiente sostenible y en armonía con su contexto.

1.2.2. Personal administrativo

El personal administrativo requiere oficinas seguras, funcionales y accesibles, equipadas con las tecnologías necesarias para optimizar la gestión y la atención al público. Además, necesitan salas de reunión, espacios de archivo y áreas de descanso que favorezcan un ambiente laboral saludable. Estas áreas deben

diseñarse considerando principios ergonómicos, de organización espacial y sostenibilidad ambiental, incorporando iluminación natural, ventilación adecuada y uso eficiente de los recursos, de manera que se reduzca la carga física y se promueva tanto el bienestar del trabajador como el respeto por el entorno.

1.2.3. Docentes

Los docentes requieren condiciones que les permitan planificar, impartir y evaluar los procesos de enseñanza en un entorno adecuado. Esto incluye aulas equipadas, recursos tecnológicos actualizados, oficinas o cubículos de trabajo para preparación académica, así como espacios para la investigación y el intercambio académico.

Además, necesitan condiciones de infraestructura que favorezcan tanto la enseñanza presencial como virtual, en respuesta a los cambios en los modelos educativos contemporáneos.

En síntesis, los tres perfiles comparten la necesidad de una infraestructura inclusiva, accesible y sostenible que promueva la calidad académica, la eficiencia administrativa y el bienestar de toda la comunidad universitaria.

1.3. Actualidad de las edificaciones de educación superior

En el 2019 las universidades estatales formaron parte de la colaboración para mejorar aspectos de la educación costarricense, el documento “*Desafíos de la educación en Costa Rica y aportes de las universidades públicas*” estableció un plan de acción fundamentado en datos del programa del Consejo Nacional de Rectores (CONARE).

Según Mora (2019), este esfuerzo comprometió a las universidades públicas nacionales a ser parte activa en solventar las necesidades que enfrenta la educación en las siguientes áreas destacadas:

- Acceso al sistema educativo.
- Políticas docentes.
- Ambientes de aprendizaje e infraestructura
- Gestión del sistema educativo

A partir de este planteamiento, las universidades estatales han realizado inversiones significativas en infraestructura, con el fin de fortalecer la calidad académica y responder a las demandas sociales. Algunos ejemplos de proyectos a partir del 2019 son los siguientes:

Universidad de Costa Rica (UCR)

- Edificio para el Programa Hélice UCR
- Recinto de Paraíso

- Edificio anexo de la Escuela de Lenguas Modernas

Universidad Nacional (UNA)

- Edificio en Campus de Pérez Zeledón

Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC)

- Nuevo edificio en Centro Académico Alajuela

Universidad Estatal a Distancia (UNED)

- Sede universitaria en Atenas, Alajuela
- Sede universitaria Puriscal, San José

Universidad Técnica Nacional (UTN)

- Eco Campus en San Carlos, Alajuela.

Estos proyectos reflejan la importancia que se le ha dado a la mejora de la infraestructura académica en los últimos años. Sin embargo, persiste un gran desafío relacionado con el financiamiento proveniente del Fondo Especial para la Educación Superior (FEES).

De acuerdo con el CONARE (2025):

La relación FEES/Producto Interno Bruto, alcanzó en 2017 su nivel máximo (1,49%) y, en 2025, el nivel más

bajo (1,14%) de los últimos 15 años: El FEES no ha crecido. Si la relación FEES/PIB se hubiese mantenido en su máximo histórico de 1,49% (2017), el FEES de 2025 debería rondar los ₡729.508 millones, es decir, ₡141.900 millones más en relación con el monto acordado para el FEES 2025 en la Asamblea Legislativa.

Esta disminución en la relación FEES/PIB se convierte en una limitante directa para la inversión en infraestructura universitaria, lo que compromete la capacidad de las instituciones de educación superior para seguir innovando, atender el crecimiento de la matrícula estudiantil y garantizar ambientes de aprendizaje modernos, inclusivos y sostenibles.

Además, como señala Quesada (2019):

La necesidad de mejorar la calidad estética y las condiciones de infraestructura de los ambientes educativos debería ser una prioridad de las políticas educativas con el fin de crear una atmósfera óptima que promueva los procesos de enseñanza y aprendizaje para promover el sentido mismo de la educación más allá de sus propósitos académicos.

Este planteamiento refuerza la idea de que la infraestructura educativa no solo debe responder a criterios funcionales o

técnicos, sino que también debe crear ambientes que favorezcan la motivación, la interacción y el bienestar de los estudiantes, docentes y personal administrativo, integrando la estética, el confort y la sostenibilidad en cada proyecto de ampliación o remodelación.

1.4. Futuros proyectos en el ITCR

El “*Plan Maestro del Campus Tecnológico Central Cartago 2020-2035*” constituye la hoja de ruta para orientar el crecimiento y la transformación de la infraestructura institucional en un plazo de quince años. (Ver Anexo 1)

En este contexto, el Plan Maestro contempla distintos proyectos de ampliación, remodelación, movilidad y ordenamiento territorial orientados a organizar el crecimiento físico del campus mediante criterios de zonificación, movilidad, nuevas edificaciones y conservación ambiental. Asimismo, el documento incorpora mapas de uso de suelo, movilidad peatonal y vehicular, transporte colectivo y corredores ecológicos, los cuales funcionan como instrumentos de planificación para futuras intervenciones urbanas dentro del ITCR.

También, se proyecta el fortalecimiento de la infraestructura destinada a la vida estudiantil, incluyendo residencias, áreas de salud, recreación y gastronomía, con el fin de atender a una

comunidad universitaria en constante crecimiento. Este Plan incorpora zonas de reserva para futuros desarrollos y establece normativas de uso de suelo que garantizan un ordenamiento urbano coherente con la visión institucional.

Específicamente, el G5 se encuentra dentro de este Plan Maestro en el punto 7. *AMPLIACIÓN (SOBRE SU MISMA HUELLA) ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN*. (Ver Anexo 1)

1.5. Perspectiva ambiental y sostenible del ITCR

El Plan Maestro del Campus Tecnológico Central Cartago 2020-2035 incorpora criterios de conservación ambiental, organización territorial y control del crecimiento urbano como parte de la planificación institucional del campus. En este sentido, la Normativa Urbana establece que toda intervención debe responder tanto al ordenamiento espacial como a la protección y conservación del medio natural del entorno universitario.

Asimismo, el Plan Maestro promueve estrategias de crecimiento que priorizan el aprovechamiento y reorganización del suelo urbanizado antes que la expansión indiscriminada sobre nuevas áreas del campus. En este contexto, las ampliaciones verticales sobre edificaciones existentes representan una alternativa coherente con los criterios de densificación y ordenamiento espacial planteados dentro del documento.

La normativa de uso de suelo define claramente zonas de crecimiento, áreas de reserva y espacios de conservación, garantizando un equilibrio entre la infraestructura construida y el paisaje natural. (Ver Anexo 2)

1.6. Situación de la EICO en el Campus Universitario

La EICO se ubica en instalaciones que, si bien cumplen con las necesidades básicas de docencia e investigación, presentan limitaciones frente al crecimiento sostenido de la matrícula y la demanda de espacios especializados. Entre los principales retos se encuentran la falta de aulas con condiciones óptimas para el uso de nuevas tecnologías, la necesidad de laboratorios mejor equipados y la integración de áreas de trabajo colaborativo que fortalezcan la investigación aplicada y que respondan a las necesidades funcionales de los estudiantes, docentes y personal administrativo.

Estas limitaciones evidencian la necesidad de una ampliación que permita reorganizar y optimizar los espacios de manera funcional, segura y sostenible, sin afectar la operación del edificio existente.

1.6.1. Necesidades espaciales

Según la comunicación personal con el Ing. Araya (5 de agosto del 2025), las necesidades espaciales de la Escuela son las siguientes:

- **Aulas:** Se requieren tres aulas para atender a grupos de hasta 45 estudiantes.
- **Laboratorio de computadoras:** Se requiere un laboratorio de computadoras con capacidad para 45 estudiantes.
- **Oficinas:** Se necesitan al menos cinco oficinas, con un ideal de ocho, distribuidas estratégicamente para docentes y personal administrativo.
- **Oficina de dirección:** Debe incluir una sala de reuniones integrada.
- **Espacios de coliving y coworking:** Es importante generar áreas que fomenten la interacción académica, el trabajo colaborativo y la socialización de los estudiantes y docentes.
- **Salas de reuniones:** Se requieren dos salas de reuniones adicionales para coordinar actividades académicas y administrativas.
- **Espacios abiertos modulares:** Áreas flexibles que puedan adaptarse a distintos usos según las necesidades del programa académico.

- **Bodega:** Se requiere un espacio destinado a almacenamiento de materiales y equipos y un espacio destinado a suministros de limpieza.
- **Cocina y servicios sanitarios:** Los espacios deben garantizar el confort y la operatividad de usuarios y visitantes.
- **Recepción:** Área destinada a la atención del público, orientando la circulación y organización de visitantes dentro del edificio.

Cuadro 8. Necesidades espaciales y funcionales con áreas mínimas para la propuesta de diseño

Necesidad espacial	Cantidad	Área estimada
Aulas	3	1,90 m ² por estudiante. Para 45 estudiantes → 85,5 m² por aula . Altura mínima 2,70 m o volumen de 5 m³ por estudiante . Relación largo-ancho ≤ 1.50:1
Laboratorio de computadoras	1	Aplican los mismos criterios que las aulas: 1,90 m² por estudiante (≈ 85,5 m²)
Oficinas	8	Áreas de 9 m²
Oficina de dirección	1	Área de 25 m²
Espacios de coliving y coworking	-	Áreas abiertas modulares y flexibles. Pueden formar parte de la superficie libre mínima o de zonas comunes cubiertas. Entre 1,50–2,00 m² por usuario simultáneo.
Salas de reuniones	2	Entre 20 m² y 25 m²
Bodegas	2	Entre 10 m² y 15 m²
Comedor	1	Espacios de servicio deben garantizar confort, ventilación, higiene y accesibilidad. Entre 10 m² y 15 m²
Servicios sanitarios	-	1 inodoro y 1 mingitorio por cada 40 alumnos (hombres); 1 inodoro por cada 30 alumnas ; 1 lavabo por cada 80 estudiantes . Deben cumplir con la Ley 7600.
Recepción	1	Debe orientar la circulación y accesos. Área entre 15 m² y 20 m²

Nota: Las áreas se obtienen del Poder ejecutivo (2020) y la recopilación de datos por parte de la Oficina de Ingeniería del ITCR.

1.7. Normativas

El diseño y desarrollo de la infraestructura de la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO) debe regirse por un marco normativo amplio que garantice accesibilidad, seguridad, eficiencia y sostenibilidad. A continuación, se detallan las principales normativas aplicables:

- **Ley 7600**

Esta ley establece la obligatoriedad de que todas las edificaciones, en especial las educativas, sean accesibles para personas con discapacidad. Implica el diseño de rampas, ascensores, servicios sanitarios accesibles, señalización adecuada, espacios de circulación amplios y condiciones que garanticen la plena inclusión de toda la comunidad universitaria.

- **Plan Maestro Institucional**

El Plan Maestro del Tecnológico de Costa Rica es la guía de planificación y desarrollo físico de la institución, estableciendo directrices de crecimiento, organización espacial, uso de suelos y armonización con el entorno urbano y natural del campus. El proyecto de la EICO debe alinearse con estas directrices para asegurar coherencia con la visión institucional de sostenibilidad, accesibilidad y modernización de la infraestructura.

- **Normativa Urbana ITCR**

El campus universitario cuenta con su propia normativa urbana que regula aspectos como la altura de edificaciones, retiros, volumetría, relación con espacios públicos, áreas verdes y circulaciones peatonales y vehiculares. Estas disposiciones buscan mantener un balance entre densificación, funcionalidad y calidad ambiental del campus.

El Consejo Institucional (2011) establece como directriz arquitectónica la aplicación de toda la normativa y reglamentación vigente en materia de edificaciones, entre ellas:

- **Reglamento de Construcciones.**

Define los parámetros mínimos para la seguridad estructural, funcional y ambiental de los edificios.

- **Compendio de Normas y Recomendaciones para la Construcción de Edificios para la Educación.**

Asegura condiciones espaciales, ambientales y de confort acordes a las necesidades pedagógicas.

- **Norma NFPA 101 (Código de Seguridad Humana)**

Regula condiciones de evacuación, salidas de emergencia, protección contra incendios y seguridad de ocupantes.

- **Código Sísmico de Costa Rica.**

Fundamental para garantizar la resistencia estructural frente a la alta sismicidad del país.

- **Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones.**

Asegura un diseño adecuado de los sistemas de agua potable, alcantarillado y evacuación de aguas residuales.

- **Reglamento de requerimientos de diseño arquitectónico**

sobre edificios para la educación pública y privada en Costa Rica (Decreto Ejecutivo N° 41103-MEP)

Establece criterios obligatorios para el diseño arquitectónico de edificaciones educativas en Costa Rica, relacionados con condiciones espaciales, dimensiones mínimas, iluminación, ventilación, accesibilidad, seguridad y confort de los espacios destinados al proceso de enseñanza-aprendizaje.

1.8. Conclusiones de los perfiles y sus requerimientos

La sistematización permite identificar los criterios clave que deben guiar el diseño arquitectónico y la planificación de la ampliación y remodelación del G5, asegurando que la propuesta responda de manera coherente a las expectativas funcionales, académicas, operativas y ambientales de toda la comunidad universitaria.

A partir del análisis desarrollado en los apartados anteriores, se presentan a continuación las principales conclusiones sobre los puntos desarrollados:

a) La edad de los perfiles inicia desde los 17 años en adelante,

estimando que a esta edad se inicia la vida universitaria (estudiantes) y de ahí en adelante se involucran edades del personal administrativo y docentes

- b) El perfil debe ser enfocado en estudiantes, personal administrativo y docentes, entre todos involucran actividades dinámicas y actividades en un mismo espacio, por lo tanto, los espacios deben ser versátiles y flexibles que puedan responder a múltiples dinámicas y actividades dentro de un mismo entorno.
- c) Dentro de las necesidades de los perfiles enfocados en infraestructura, se requiere que los espacios ofrezcan condiciones óptimas de iluminación natural, ventilación adecuada, acústica y uso eficiente de los recursos desde una visión holística que integre las necesidades educativas con las características del entorno.
- d) Se necesitan condiciones de infraestructura que favorezcan tanto la enseñanza presencial como virtual, en respuesta a los cambios en los modelos educativos contemporáneos.
- e) A nivel nacional se tiene un compromiso con el plan de acción del documento “*Desafíos de la educación en Costa Rica y aportes de las universidades públicas*” que compromete al ITCR a ser parte activa en solventar las necesidades que enfrenta la educación superior en cuanto a ambientes de aprendizaje e infraestructura, por lo que la ampliación y

renovación del G5 se enmarca como una acción coherente y alineada con dicho plan, respondiendo a los retos actuales del sistema educativo.

- f) Las universidades estatales presentan un importante desafío al tener el compromiso de solventar las necesidades de infraestructura debido a la limitación de recursos asignados por el FEES, dado que en el 2025 se tiene una relación FEES/PIB del 1.14% (el más bajo en los últimos 15 años), lo cual se traduce en una restricción directa para la inversión en nuevas edificaciones y en la modernización de los espacios universitarios, afectando la capacidad de respuesta a las crecientes demandas académicas y sociales.
- g) Dentro de los proyectos futuros del ITCR, según el Anexo 1, el G5 se encuentra dentro de esta proyección en el punto 7. *AMPLIACIÓN (SOBRE SU MISMA HUELLA) ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN*, esto implica un compromiso directo para la EICO, que debe elaborar un anteproyecto de la propuesta y, posteriormente, desarrollarlo en concordancia con los lineamientos establecidos en el Plan Maestro 2020-2035.
- h) En el ámbito ambiental, el Plan Maestro Institucional 2020-2035 establece que las nuevas edificaciones y remodelaciones deben responder a un ordenamiento urbano armónico, incorporando criterios de optimización del espacio y respeto por el entorno natural.

- i) La propuesta debe tener: 3 aulas, 1 laboratorio de computadoras, 5 a 8 oficinas, 1 oficina de dirección con sala de reuniones, espacios de coliving y coworking, 2 salas de reuniones, espacios abiertos modulares, 1 bodega materiales y equipos, 1 bodega de implementos de limpieza, 1 cocina, servicios sanitarios, recepción.
- j) El proyecto debe ajustarse a: Ley 7600, Plan Maestro Institucional, Normativa Urbana ITCR, Reglamento de Construcciones, Compendio de Normas Educativas, Código Sísmico de Costa Rica, NFPA 101 y Códigos de instalaciones hidráulicas y sanitarias.

2. Análisis contextual del proyecto

En este apartado se presenta la información general del proyecto de ampliación y remodelación del edificio G5. Se incluye la ubicación geográfica del campus, la justificación de la elección del terreno y las condiciones climáticas que influyen en el diseño, con el fin de establecer el marco de referencia para el desarrollo arquitectónico y técnico de la propuesta.

2.1. Ubicación geográfica del proyecto

El proyecto de ampliación y remodelación del edificio G5, para albergar la Escuela de Ingeniería en Construcción se ubica en el Campus Tecnológico Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), en la provincia de Cartago, cantón Cartago, distrito Dulce Nombre. Sus coordenadas geográficas son 9°51'16"N y 83°54'33"O, a una altitud aproximada de 1.435 msnm.

La localización estratégica del Campus le permite conectarse de manera eficiente con la ciudad de Cartago, gracias a su cercanía con las principales vías de acceso urbano y al sistema de transporte público, lo cual facilita la movilidad diaria de estudiantes, docentes y personal administrativo.

Figura 23. Ubicación del ITCR.



Nota. Elaboración propia

Dentro del Campus, el edificio del G5 se encuentra en la zona noreste del terreno que abarca el TEC.

Figura 24. Ubicación del edificio G5.



Nota. Elaboración propia

2.2. Justificación de la elección del terreno

Se justifica con base a los puntos que se detallan a continuación.

2.2.1. Accesibilidad y conexión con el campus

El G5 se localiza en una posición estratégica dentro del Campus.

Hacia el norte, dispone de un amplio parqueo que facilita la entrada y salida tanto de estudiantes como de personal administrativo y docente, lo cual reduce la presión sobre otras zonas de estacionamiento del campus. Este acceso directo también favorece la conectividad con las principales vías internas y con los corredores peatonales.

Hacia el este, colinda con el Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO), unidad que forma parte de la EICO; sin embargo, debido a su localización, los estudiantes no interactúan frecuentemente con este espacio, lo cual representa una oportunidad para mejorar la integración futura entre ambas instalaciones. La ampliación del G5 abre la posibilidad de integrar ambos espacios de forma más eficiente mediante circulaciones internas, áreas comunes y proyectos conjuntos. Hacia esta dirección también colinda con un anexo del Laboratorio de Concreto perteneciente a la EICO.

Hacia el sur existe una zona verde perteneciente a la EICO, donde se cuenta con una idea de proyecto futuro denominado “Clúster Demostrativo”. Este espacio busca consolidarse como un laboratorio vivo de innovación sostenible en construcción, donde se levantarán infraestructuras que muestren diferentes sistemas y técnicas constructivas, permitiendo a los estudiantes conocer en la práctica sus aplicaciones y resultados. Con ello, se pretende fortalecer el aprendizaje experiencial y despertar un mayor interés

en la comunidad estudiantil hacia los alcances de la carrera de Ingeniería en Construcción.

Figura 25. Propuesta de preliminar del Proyecto: Clúster Demostrativo.



Nota. Adaptado con base a imágenes recopiladas de Flores, C., Montiel, M, Ramírez, L., Ramón, R. y Rivera, H. (2024)

Hacia el oeste, el G5 colinda con el Programa de Evaluación de Puentes, el cual forma parte de la Escuela de Ingeniería en Construcción. Este edificio se encuentra ubicado entre el Laboratorio de Tejidos de Biotecnología y el Laboratorio Institucional de Microscopía, lo que coloca a la EICO en un entorno académico interdisciplinario. La cercanía con el Programa de Evaluación de Puentes representa una ventaja estratégica, ya que fortalece la relación entre la formación estudiantil y la investigación aplicada en infraestructura vial, permitiendo generar sinergias académicas y profesionales que enriquecen tanto la docencia como los proyectos de extensión universitaria.

2.2.2. Condiciones climáticas favorables

El clima de Cartago, en el distrito de Dulce Nombre donde se ubica el ITCR, se caracteriza por ser fresco y húmedo durante todo el año, lo que resulta propicio para la implementación de estrategias de diseño pasivas y activas.

Estas condiciones permiten aprovechar la ventilación cruzada, la iluminación natural y la integración de áreas verdes como mecanismos de control térmico y confort ambiental. Asimismo, la constante presencia de lluvias brinda la oportunidad de incorporar sistemas de captación y aprovechamiento de agua pluvial.

En conjunto, estas características convierten al campus en un espacio idóneo para desarrollar una propuesta de diseño

arquitectónico sostenible que responda al contexto climático local y reduzca la dependencia de sistemas mecánicos de climatización.

2.2.3.Potencial para el desarrollo regenerativo

La ampliación y remodelación del G5 no debe limitarse a resolver un déficit de espacios que carece la Escuela, sino que tiene el potencial de convertirse en un modelo de infraestructura regenerativa, capaz de generar impactos positivos en lo ambiental, lo social y lo académico.

Desde esta visión, el edificio puede convertirse en un referente dentro del ITCR y, potencialmente, en un modelo replicable para otras instituciones de educación superior en Costa Rica y en la Región.

De acuerdo con los principios de la arquitectura regenerativa (Slow Studio, 2023), este proyecto puede desarrollarse en torno a algunos de los ejes fundamentales, que orientan tanto el diseño arquitectónico como la gestión integral del espacio:

i. Integración de la naturaleza

Desde una perspectiva ambiental y de diseño holístico, la ampliación del G5 debe concebirse como una edificación que dialogue armónicamente con el entorno inmediato del campus. Esto implica integrar el edificio con las zonas verdes colindantes, los corredores biológicos y los espacios abiertos existentes, de

manera que la propuesta de diseño arquitectónico no sea una barrera sino un conector entre lo construido y lo natural.

El diseño puede potenciar esta integración mediante vistas hacia el paisaje y la continuidad de áreas verdes alrededor de la edificación. De esta forma, el proyecto no solo contribuye a la biodiversidad y a la regulación del microclima local, sino que también ofrece a estudiantes y docentes un ambiente que refuerza el aprendizaje y la conexión con la naturaleza.

ii. Uso responsable del suelo

El proyecto se desarrollará sobre la huella ya existente del G5, evitando la expansión sobre zonas verdes y áreas de conservación. Además, se priorizará un diseño compacto y modular que optimice el espacio vertical y reduzca la necesidad de movimientos de tierra.

iii. Utilización de materiales naturales

El uso de materiales locales y de bajo impacto ambiental es esencial, también contribuye a fortalecer la economía regional, reducir costos de transporte y emisiones asociadas, y generar un vínculo entre el proyecto y la identidad cultural y constructiva de Costa Rica. Esta estrategia refuerza la dimensión regenerativa del G5, integrando criterios ambientales, sociales y económicos en el diseño arquitectónico.

iv. Diseño a base de condiciones climatológicas

El contexto climático de Cartago, caracterizado por temperaturas moderadas y alta humedad relativa, permite implementar estrategias pasivas y activas como la ventilación cruzada, el aprovechamiento de la luz natural, así como la correcta orientación de los espacios para maximizar el confort térmico.

v. Preservación de la salud

Diseñar espacios con ventilación natural cruzada, adecuada circulación del aire e iluminación natural suficiente no solo mejora el confort térmico y lumínico, sino que también contribuye a la salud física y mental de estudiantes, docentes y personal administrativo. Estos elementos reducen la dependencia de sistemas mecánicos de climatización, disminuyen el riesgo de enfermedades respiratorias y generan un ambiente académico más estimulante y productivo, aumentando inclusive el rendimiento profesional y académico de los usuarios.

vi. Integración de la comunidad

El proyecto debe convertirse en un espacio abierto y flexible que fomente la interacción entre estudiantes, docentes, personal administrativo e incluso actores externos al campus. Para ello, se contemplan áreas de coworking, salas de reuniones modulares y

espacios de coliving que promuevan la innovación y el trabajo interdisciplinario.

vii. Generación de culturas regenerativas

Más allá de la infraestructura, el G5 tiene el potencial de consolidarse como un laboratorio vivo de aprendizaje. La integración de señalética educativa sobre el uso eficiente de los recursos y el diseño de espacios vinculados a la docencia e investigación fortalecerán la identidad regenerativa del proyecto. Asimismo, se tiene la proyección de avanzar hacia la certificación nacional de Bandera Azul Ecológica, lo que garantizaría estándares de calidad y convertiría al edificio en un referente dentro del TEC y a nivel nacional.

2.2.4. Viabilidad como plan piloto replicable

La propuesta de ampliación y remodelación del G5 trasciende el objetivo inmediato de solventar las necesidades espaciales de la EICO, al tener el potencial de consolidarse como un plan piloto replicable en otros espacios del campus y en instituciones de educación superior del país y la región.

Su viabilidad radica en varios factores clave:

i. Alineación con el Plan Maestro Institucional 2020–2035

El proyecto se desarrolla sobre la huella existente, lo que lo convierte en un ejemplo de aprovechamiento eficiente del suelo y de densificación ordenada dentro del campus. Este principio puede replicarse en otras escuelas o dependencias que requieran ampliar su infraestructura sin impactar negativamente las áreas verdes ni el ordenamiento urbano institucional.

ii. Modelo de sostenibilidad y regeneración

La integración de estrategias ambientales como la ventilación eficiente, iluminación natural, incorporación de energías renovables y diseño con materiales de bajo impacto ambiental, lo posicionan como un referente de infraestructura regenerativa. Una vez implementadas y evaluadas, estas soluciones pueden documentarse y adaptarse para otros proyectos en el TEC y en universidades nacionales e internacionales.

iii. Flexibilidad y adaptabilidad espacial

La propuesta contempla aulas, laboratorios, oficinas y espacios de coworking-coliving con características modulares y versátiles, capaces de ajustarse a las dinámicas cambiantes de la docencia y

la investigación. Esta capacidad de adaptación es un elemento clave que facilita replicar el modelo en contextos con diferentes escalas, presupuestos y necesidades académicas.

iv. Contribución al desarrollo académico y social

Al incorporar espacios de interacción colaborativa, el proyecto no solo resuelve un déficit de infraestructura, sino que fortalece las dinámicas de innovación, investigación aplicada y vinculación con la comunidad. Esta visión puede inspirar a otras unidades académicas a seguir un enfoque similar, fomentando un cambio cultural hacia la integración social y académica en la arquitectura universitaria.

2.3. Levantamiento físico del entorno alrededor del G5

Este apartado sintetiza y analiza los hallazgos del levantamiento físico realizado al edificio G5 (visita del 13 de agosto de 2025).

El objetivo es transformar las observaciones descriptivas en insumos proyectuales: identificar condicionantes y oportunidades arquitectónicas y ambientales que deben orientar la propuesta de ampliación (segunda y tercera planta) de la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO).

El análisis integra aspectos de accesibilidad y circulación, estructura y materiales, topografía, microclima, vegetación y

edificación contigua, e incorpora criterios de sostenibilidad y viabilidad técnica.

2.3.1. Metodología del levantamiento

- Visita de campo: 13 de agosto del 2025
- Hora de inicio 16:00
- Hora de finalización 17:30.
- Inspección visual, registro fotográfico y croquis in situ.
- Revisión de elementos observables: accesos, rampas, áreas de servicio, estado de fachadas, materiales aparentes, pendientes del terreno y distribución de vegetación.

2.3.2. Resultados del levantamiento

i. Accesos y conectividad peatonal/vehicular

Hallazgos

- Parqueo amplio al norte, con entrada/salida directa desde la vía principal del campus (buena conectividad vehicular).
- Acceso peatonal y aceras en buen estado.
- Área de carga/descarga al este (compartida con CIVCO).
- Cumplimiento visible de criterios básicos de accesibilidad

(Ley 7600: rampas, anchos de puertas y señalización).

- Obstáculos puntuales que afectan la imagen y la funcionalidad del entorno: transformador junto a la entrada norte, depósito de desechos y contenedor azul al sur.

Estos espacios se referencian en la figura 27

Implicaciones proyectuales

- El acceso norte y el parqueo son ventajas para flujos de llegada, sin embargo, el parqueo funciona como posible barrera al flujo de aire hacia el primer nivel; se debe analizar la ventilación natural condicionada por esta masa.
- Mantener y mejorar rutas accesibles directas (rampas, ascensor) será obligatorio para conectar los nuevos niveles sin vulnerar Ley 7600.
- Es preciso reubicar o integrar visualmente instalaciones de servicio (transformador, contenedores) mediante cerramientos, pantallas vegetales o reordenamiento de logística para mejorar la percepción del entorno y la seguridad.

ii. Estructura y materialidad del edificio existente

Hallazgos

- Observación de materialidad exterior: predominio de mampostería y concreto.
- Observación de materialidad interior: combinación de paredes livianas, elementos de concreto y estructura metálica (con evidencias de modificaciones en muros y columnas respecto a la ubicación original).
- Edificaciones colindantes presentan materialidades diversas: concreto, vidrio, estructuras metálicas y plástico en invernadero.

Implicaciones proyectuales

- Para añadir dos niveles se deben evaluar dos estrategias principales: (a) estructuras independientes (nueva estructura autoportante con junta sísmica que minimice intervención en la estructura existente) o (b) refuerzo de la estructura existente (refuerzos, columnas y vigas de transferencia).
- Contemplar esquema estructural independiente ligero para reducir cargas a la cimentación existente y minimizar interrupciones operativas.

iii. Topografía y drenaje

Hallazgos

- Parcela mayormente plana donde se asienta el G5 (condición favorable para ampliaciones).
- Pendientes pronunciadas al norte y al oeste (accesos con escaleras); mínima pendiente al sur (conexión a zona verde).
- La planicie facilita extensiones sobre la huella y reduce costos de movimiento de tierras, pero las pendientes laterales condicionan accesos y posibles soluciones de evacuación y seguridad.
- El drenaje superficial se debe considerar cuidadosamente, debido a que la proximidad del parqueo y la carretera al este puede canalizar escorrentías hacia el edificio si no se controlan.

Estos espacios se referencian en la figura 26

Implicaciones proyectuales

- Integrar drenajes perimetrales y soluciones de manejo pluvial (canales, zanjas vegetadas, etc) para evitar concentraciones de agua en la base.
- Ubicar accesos principales y salidas de emergencia teniendo en cuenta las pendientes y niveles de servicio; considerar

rampas en reemplazo de escalones en accesos principales para accesibilidad universal.

iv. Vegetación y entorno natural

Hallazgos

- Árboles existentes proporcionan sombra parcial en fachadas norte y contribuyen a microclima local.
- Zona verde al sur con potencial para integración pedagógica (Clúster Demostrativo propuesto por la EICO).
- La vegetación existente es un activo del proyecto: mejora confort térmico por sombreado, reduce el efecto de isla térmica del campus y ofrece oportunidades pedagógicas y de biodiversidad.

Estos espacios se referencian en la figura 26

Implicaciones proyectuales

- Proponer paisajismo con especies nativas para sombra estratégica (favorecer fachadas expuestas al oeste).
- Diseñar patios o patios-jardín entre nuevas placas para huecos de luz y ventilación, y para uso didáctico del Clúster Demostrativo. Plantear alguna conexión entre la ampliación y el Clúster Demostrativo

v. Microclima: sol, viento y humedad

Hallazgos

- Trayectoria solar este-oeste a lo largo del edificio; a las 16:30 la fachada este está en sombra total y la oeste recibe mayor incidencia solar, generando incremento de temperatura interna y posibles afectaciones en el confort térmico de los espacios expuestos. En contraste, la fachada este permanece en condición de sombra parcial o total en ese horario.
- La incidencia solar predominante en fachada oeste exige tratamientos específicos: control solar (aleros, vegetación) y materiales con baja ganancia térmica para fachadas expuestas, con el fin de reducir el sobrecalentamiento de los espacios interiores.
- Vientos moderados, pero con barreras locales: parqueo al norte y edificaciones al oeste y este que limitan flujo del viento.
- Condiciones de humedad alta y temperaturas moderadas en la zona, lo que favorece estrategias pasivas de ventilación y protección solar.
- La ventilación natural se ve condicionada por barreras; por tanto, los sistemas pasivos deben combinar ventilación cruzada en plantas altas o patios para asegurar renovación de aire.

Implicaciones proyectuales

- Situar aulas y espacios de mayor ocupación aprovechando ventilación cruzada (orientación transversal que conecte aperturas con viento predominante si es posible).
- Implementar estrategias de control solar activo-pasivo, especialmente en fachadas oeste y suroeste, mediante aleros profundos, dispositivos de sombreado móvil, vegetación y materiales con baja absorción térmica para reducir ganancias de calor y mejorar el confort interior.
- Incorporar lucernarios o soluciones de iluminación cenital controlada para favorecer el ingreso de luz difusa en zonas centrales sin aumentar la carga térmica interna.
- Incluir estrategias de manejo de humedad (ventilación nocturna, materiales que respiren, deshumectación mecánica en espacios cerrados como laboratorios con equipos sensibles).

vi. Edificaciones colindantes y su influencia

Hallazgos

Edificios cercanos: CIVCO (este), Laboratorio de Concreto (este), Programa de Evaluación de Puentes (oeste), Laboratorio de Tejidos y Microscopía (oeste), Edificio de Ciencias del Lenguaje (varios niveles, norte).

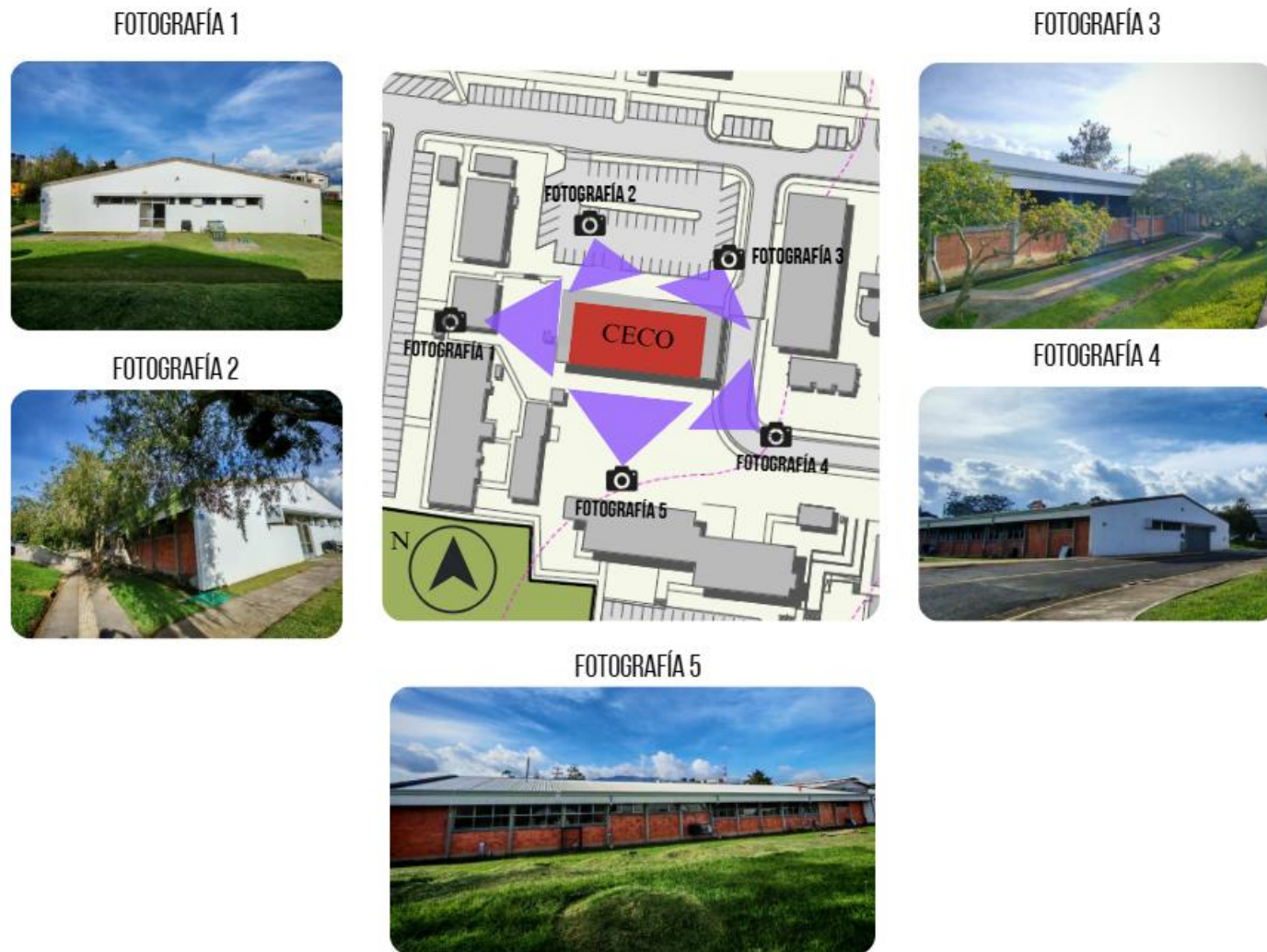
Materialidad predominante: mampostería, concreto, vidrio y estructuras metálicas.

- La proximidad de programas afines representa una oportunidad de sinergia (intercambio de espacios, uso compartido de laboratorios, accesos conectados), pero exige planificar la circulación para minimizar conflictos entre usuarios (estudiantes vs transporte de materiales pesados).
- Actividades en laboratorios (concreto, puentes y planta existente del G5) pueden generar ruidos, vibraciones y tráfico de servicio que condicionan el diseño de fachadas y salas que requieran silencio o control acústico.

Implicaciones proyectuales

- Ubicar aulas sensibles y espacios de concentración alejados de fuentes de ruido; emplear fachadas y particiones con control acústico.
- Diseñar recorridos logísticos diferenciados para actividades que requieran transporte de materiales pesados, manteniendo las rutas de usuarios separadas.

Figura 26. Recopilación fotográfica alrededor del G5



Nota: Elaboración propia a partir del registro fotográfico recopilado en la visita a sitio el 13 de agosto del 2025.

Figura 27. Recopilación fotográfica alrededor del G5



Nota: Elaboración propia a partir del registro fotográfico recopilado en la visita a sitio el 13 de agosto del 2025.

vii. Problemáticas detectadas

1. Obstáculos visuales y funcionales en accesos (transformador, contenedores, depósito de desechos).
2. Barreras al flujo de aire por el parqueo y edificaciones adyacentes.
3. Necesidad de diagnóstico estructural por modificaciones previas en muros y columnas.
4. Condiciones de insolación fuerte en fachada oeste (exposición tarde) que puede generar sobrecalentamiento en espacios.
5. Gestión pluvial (riesgo de escorrentías por zonas de parqueo y carreteras cercanas).
6. Riesgos acústicos por proximidad a laboratorios.

viii. Oportunidades detectadas

- Parqueo y accesos permiten logística favorable y futura ocupación; facilitan llegada de usuarios y posibles módulos técnicos.
- Zona verde sur y proximidad al posible Clúster Demostrativo: potencial para integraciones pedagógicas.
- Edificios colindantes con programas afines favorecen sinergias académicas y uso eficiente de recursos.

- Materialidad existente (concreto, mampostería y estructura metálica) puede facilitar conexiones mecánicas y apoyos para nuevas estructuras prefabricadas.

2.4. Variables climáticas

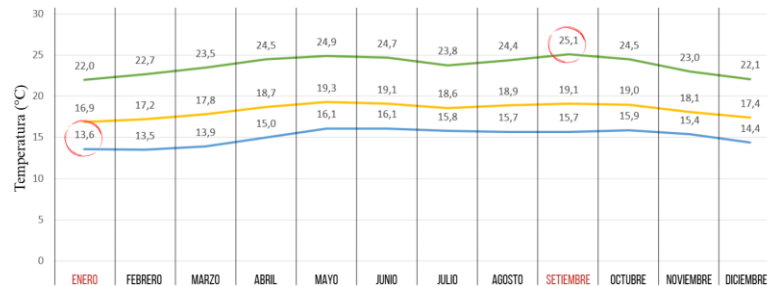
A continuación, se presenta cada variable climática con su caracterización, implicaciones para el diseño y recomendaciones concretas para la ampliación del G5.

Para el análisis del perfil climático del sitio en estudio se obtienen los datos de la estación 73123 – Cartago, Estación Tecnológico de Costa Rica por medio del Instituto Meteorológico Nacional, debido a que es la estación más cercana a la edificación donde se va a realizar el anteproyecto.

2.4.1. Temperatura

Con base a los datos suministrados, se analiza la información por medio del siguiente gráfico:

Gráfico 1. Temperatura mínima, media y máxima anual de Estación Tecnológico de Costa Rica.



Nota: Elaboración propia, los datos fueron suministrados por el IMN.

La zona se caracteriza por un clima fresco y estable, con temperaturas máximas promedio que oscilan entre **22,0 °C y 25,1 °C**, y mínimas entre **13,5 °C y 16,1 °C**, con una media anual de **18,3 °C**. Esta baja amplitud térmica indica que el clima es relativamente uniforme a lo largo del año.

El mes más cálido es septiembre, mientras que los meses más frescos se ubican entre diciembre y enero. Esta estabilidad térmica favorece la implementación de estrategias de ventilación natural y control pasivo, dado que las condiciones no requieren un uso intensivo de climatización mecánica.

2.4.2. Humedad relativa

Con base a los datos suministrados, se analiza la información por medio del siguiente gráfico:

Gráfico 2. Precipitación y humedad anual de Estación Tecnológico de Costa Rica.

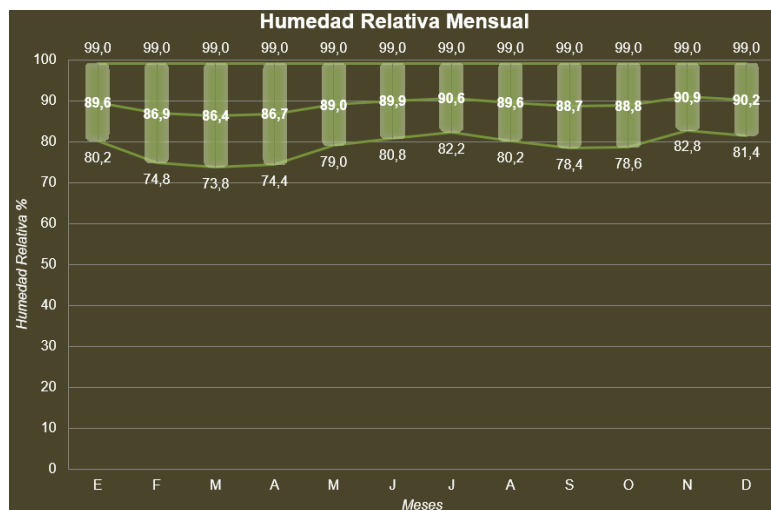


Nota: Elaboración propia, los datos fueron suministrados por el IMN.

La humedad relativa se mantiene elevada durante todo el año, con un promedio anual de **88,9 %** y valores mensuales que oscilan entre **86 % y 91 %**.

Esto refleja un ambiente constantemente húmedo, lo cual genera retos de confort térmico, así como riesgos de condensación y proliferación de hongos en espacios poco ventilados. La alta humedad está estrechamente relacionada con los patrones de precipitación, mostrando incrementos durante los meses más lluviosos (mayo a octubre).

Figura 28. Humedad relativa mensual en porcentaje.



Nota: Se procesan los datos recibidos por el IMN en la herramienta Bioclimarq 2020.

El gráfico de humedad relativa mensual muestra que el área de estudio mantiene condiciones de alta humedad durante todo el año, con valores máximos constantes de **99 %** y mínimos que oscilan entre **73.8 %** en marzo y **82.8 %**. Estos mínimos más bajos coinciden con la estación seca (diciembre a abril), mientras que los valores más altos corresponden a la estación lluviosa (mayo a octubre).

2.4.3. Precipitación

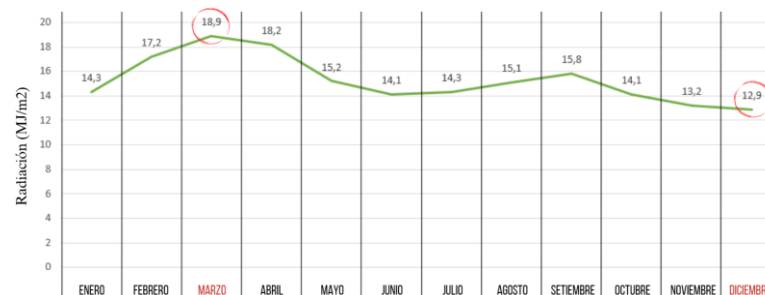
La precipitación anual alcanza en promedio un total de 1.463,5 mm al año.

Según la información tabulada en el gráfico 2, la estación lluviosa se extiende de mayo a octubre, con máximos en septiembre y octubre, mientras que la época más seca ocurre entre enero y marzo.

2.4.4. Radiación Solar y Brillo Solar

Con base a los datos suministrados, se analiza la información por medio del siguiente gráfico:

Gráfico 3. Radicación solar anual de Estación Tecnológico de Costa Rica.



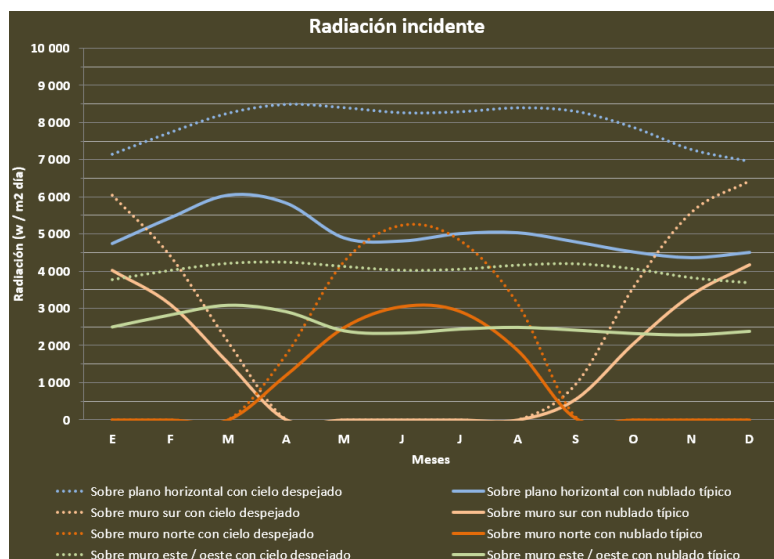
Nota: Elaboración propia, los datos fueron suministrados por el IMN.

La radiación solar global promedio anual es de **15,3 MJ/m²**, lo que permite considerar la instalación de paneles solares fotovoltaicos para autoconsumo eléctrico.

Sin embargo, la radiación presenta descensos notables durante la estación lluviosa debido al aumento de la nubosidad, lo que implica que los sistemas solares deben dimensionarse con márgenes de seguridad.

La mayor incidencia solar ocurre en los meses de marzo y abril, coincidiendo con la transición hacia la estación lluviosa.

Figura 29. Radiación incidente expresada en w/m2 por día.



Nota: Se procesan los datos recibidos por el IMN en la herramienta Bioclimarq 2020.

Con base en el gráfico de radiación incidente, se distinguen claramente las líneas punteadas que representan la incidencia solar en condiciones de cielo despejado y las líneas continuas que reflejan la radiación en condiciones de cielo nublado. Esta diferenciación permite identificar no solo la magnitud de la radiación en cada orientación, sino también el impacto de la nubosidad sobre la captación de energía solar.

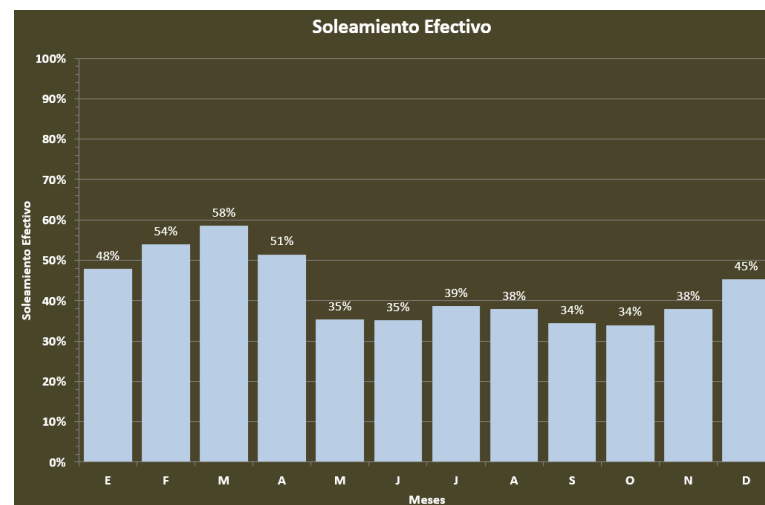
En el caso de la línea punteada y continua azul, correspondientes al plano horizontal (techo), se observa que esta superficie es la que recibe mayor radiación incidente a lo largo de todo el año, tanto en condiciones de cielo despejado como nublado. Este comportamiento responde a que el plano horizontal está expuesto de manera directa a la trayectoria solar durante todo el día, sin depender de ángulos de incidencia específicos como ocurre en las fachadas verticales. Por lo tanto, esta orientación constituye la principal superficie de captación energética, aspecto de gran relevancia para estrategias como la instalación de paneles solares. En cuanto a la línea punteada y continua verde, que representan la radiación incidente sobre las fachadas este y oeste, se aprecia una tendencia regular a lo largo del año. Este patrón responde directamente al recorrido aparente del sol: la fachada este recibe radiación en horas de la mañana, mientras que la fachada oeste la recibe en horas de la tarde. La evidencia de este comportamiento fue confirmada mediante la visita al sitio el 13 de agosto a las

16:00 h, donde se documentó fotográficamente la radiación solar proyectada sobre la fachada oeste. Este tipo de incidencia implica retos importantes de control térmico, ya que la radiación sobre las fachadas verticales suele incidir con ángulos bajos, penetrando más fácilmente hacia el interior de los espacios.

Respecto a la línea punteada y continua rosada, que representan la fachada norte, se observa una clara tendencia estacional: entre los meses de septiembre y abril la radiación incidente aumenta, mientras que de abril a septiembre prácticamente desaparece. Esto se debe a la inclinación del eje terrestre y a la posición del sol en el hemisferio norte, que en este intervalo del año se ubica en el cenit o en el hemisferio opuesto, evitando que los rayos solares incidan directamente sobre dicha fachada.

De forma complementaria, el comportamiento de las líneas punteada y continua anaranjadas, correspondientes a la fachada sur, resulta ser el inverso al de la fachada norte. En este caso, la incidencia de radiación es prácticamente nula entre septiembre y abril, mientras que aumenta de manera significativa en los meses restantes (abril a septiembre), cuando el sol se desplaza hacia el hemisferio norte y sus rayos alcanzan con mayor intensidad esta orientación.

Figura 30. Soleamiento efectivo.



Nota: Se procesan los datos recibidos por el IMN en la herramienta Bioclimarq 2020.

El análisis del soleamiento efectivo evidencia una marcada estacionalidad que condiciona el comportamiento climático de la zona. Durante la estación seca, particularmente en el primer trimestre del año, se registran los valores más elevados, alcanzando un máximo en marzo con un 58 %, seguido de febrero con un 54 % y abril con un 51 %.

Este comportamiento refleja una mayor disponibilidad de radiación solar en los meses iniciales del año, lo que resulta favorable para la captación energética pasiva y el

aprovechamiento de tecnologías como los sistemas fotovoltaicos. En contraste, entre los meses de mayo y octubre se observa una disminución significativa, con los niveles más bajos en mayo y junio (35 %) y en septiembre y octubre (34 %), coincidiendo con el periodo de mayor precipitación.

Hacia el cierre del año, los porcentajes vuelven a incrementarse ligeramente, con un 38 % en noviembre y un 45 % en diciembre. Esta tendencia refleja una mayor exposición solar en la estación seca y una reducción significativa en la estación lluviosa, lo que tiene implicaciones directas en el diseño arquitectónico, particularmente en la captación de energía solar y el confort térmico de los espacios.

2.4.5. Nubosidad

La nubosidad en la zona de estudio se presenta de manera frecuente a lo largo del año y se encuentra estrechamente vinculada con los altos valores de humedad relativa y los patrones de precipitación.

Como se ha analizado en las variables anteriores, la elevada nubosidad también limita de forma significativa la entrada de radiación solar directa, disminuyendo los picos de soleamiento que podrían aprovecharse para estrategias de ganancia térmica pasiva o para la generación fotovoltaica. Esto influye en el aprovechamiento energético y ambiental del edificio, por un lado,

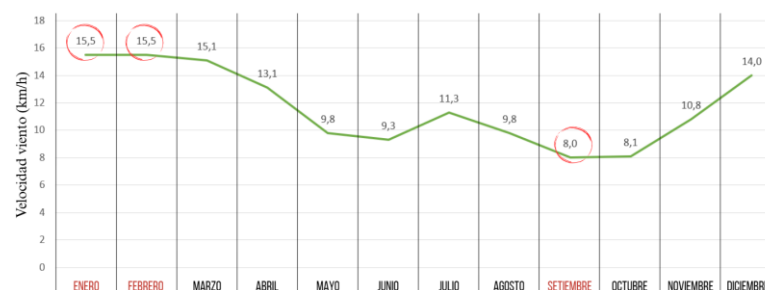
contribuye a mantener temperaturas relativamente estables al reducir la incidencia directa sobre cubiertas y fachadas, lo que disminuye el riesgo de sobrecalentamiento en el interior.

Por otro lado, al limitar la radiación directa, puede reducir la eficiencia de tecnologías solares pasivas y activas, lo que refuerza la necesidad de integrar estrategias de diseño bioclimático adaptadas al contexto, tales como sistemas de ventilación cruzada, superficies reflectantes y el uso de materiales con alta inercia térmica.

2.4.6. Viento

Con base a los datos suministrados, se analiza la información por medio del siguiente gráfico:

Gráfico 4. Velocidad del viento anual de Estación Tecnológico de Costa Rica.



Nota: Elaboración propia, los datos fueron suministrados por el IMN.

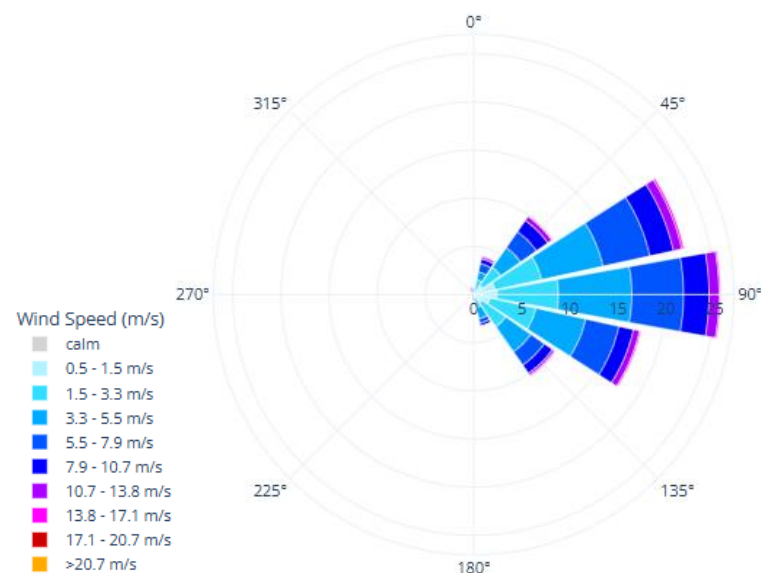
La velocidad media anual del viento es de 11,7 km/h, con máximos en enero y febrero de aproximadamente **15,5 km/h** y mínimos en septiembre de 8,0 km/h.

Este comportamiento refleja la influencia de los vientos alisios durante la estación seca, los cuales tienden a ser más constantes y veloces. En cambio, durante la estación lluviosa disminuyen notablemente. Aunque la velocidad es suficiente para la ventilación natural, su eficacia puede reducirse debido a las barreras físicas inmediatas del campus (edificios, parqueo al norte y topografía).

La rosa de los vientos presentada en la siguiente figura refleja un predominio claro de los vientos provenientes del Este (90°), los cuales concentran la mayor frecuencia de ocurrencia, alcanzando valores superiores al 20 % en varias de sus categorías.

Este comportamiento evidencia que la dinámica eólica de la zona está fuertemente condicionada por la influencia de los vientos alisios, característicos de la región tropical. Asimismo, se observan aportes menores de vientos provenientes del noreste (45°) y sureste (135°), aunque con frecuencias significativamente más bajas, lo que confirma la direccionalidad marcada hacia el Este como el vector dominante.

Figura 31. Rosa de los vientos.



Nota: Se procesan los datos EPW brindados por el IMN en la herramienta CBE Clima.

El aprovechamiento de estos vientos predominantes puede favorecer la reducción de cargas térmicas internas y disminuir la dependencia de sistemas mecánicos de climatización, lo que resulta coherente con los principios de eficiencia energética y sostenibilidad. En este sentido, el análisis confirma que cualquier propuesta de diseño debe priorizar la captación y canalización de los flujos de aire desde el Este, considerando a la vez medidas de

control para evitar posibles condiciones no confortables asociados con corrientes de aire excesivas en ciertas épocas del año.

2.4.7.Recorridos solares

El análisis de la trayectoria solar en solsticios y equinoccios resulta fundamental para comprender el comportamiento de la radiación a lo largo del año y, a partir de ello, definir estrategias pasivas que optimicen el confort térmico y lumínico en los espacios arquitectónicos.

Las variaciones en el azimut y la altura solar determinan qué fachadas, cubiertas y espacios interiores reciben mayor incidencia en diferentes momentos del día, lo que repercute directamente en el riesgo de sobrecalentamiento, el aprovechamiento de la iluminación natural y la necesidad de sombreado o aislamiento térmico.

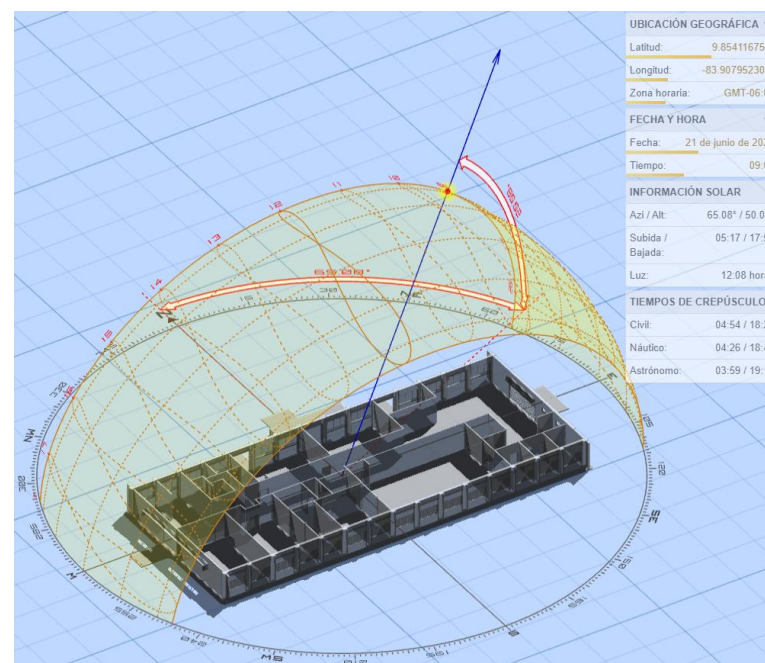
A continuación, se presentan los resultados específicos para los solsticios de junio y diciembre, así como para los equinoccios de marzo y setiembre, analizados a las 9:00, 12:00 y 15:00 horas, con el fin de identificar patrones críticos de incidencia solar y establecer lineamientos de diseño pasivo aplicables al proyecto arquitectónico.

Solsticio 21 de junio

- **9:00 horas**

El sol se encuentra con un azimut de 65.08° (noreste) y una altura de 50.08°.

Figura 32. Proyección solar sobre el G5 el 21 de junio a las 9:00h.



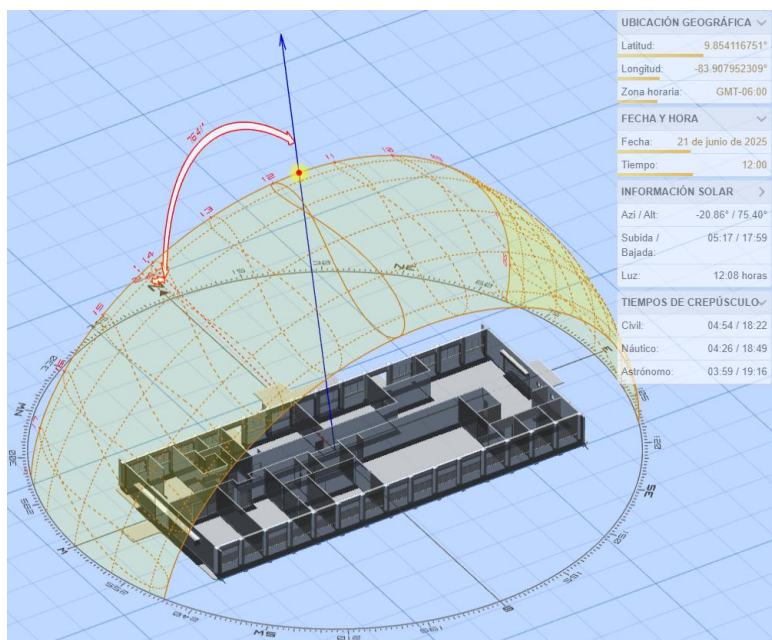
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

En esta condición, las fachadas este y noreste reciben la mayor incidencia, con sombras relativamente cortas. La radiación ingresa en los espacios interiores en las primeras horas de la

mañana, lo cual favorece la iluminación natural, aunque también puede generar deslumbramiento o sobrecalentamiento en los espacios internos orientados en esta dirección.

- 12:00 horas

Figura 33. Proyección solar sobre el G5 el 21 de junio a las 12:00h.



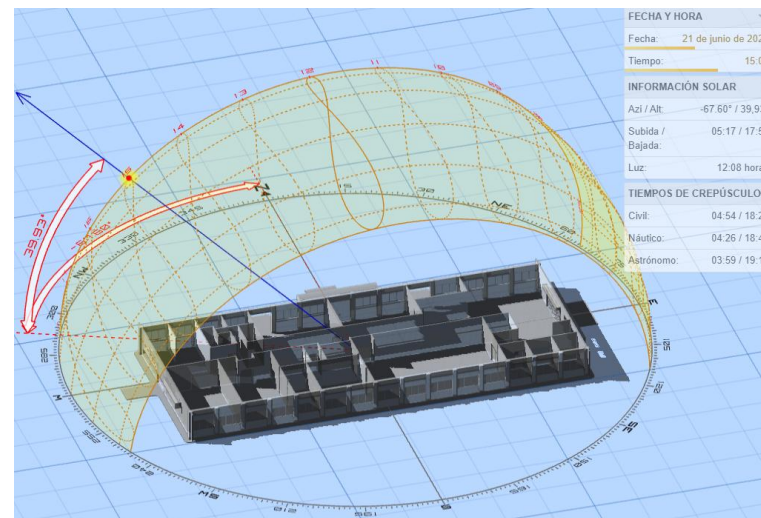
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

Al mediodía, el sol alcanza un azimut de -20.86° (cercano al norte) y una altura máxima de 75.40° , lo que produce sombras cortas.

En esta posición, la radiación se concentra principalmente sobre las cubiertas horizontales, mientras que las fachadas verticales reciben poca radiación directa. Esto evidencia la necesidad de reforzar la protección térmica y el aislamiento de techos, además de la posibilidad de incorporar sistemas fotovoltaicos que aprovechen la radiación casi cenital.

- 15:00 horas

Figura 34. Proyección solar sobre el G5 el 21 de junio a las 15:00h.



Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

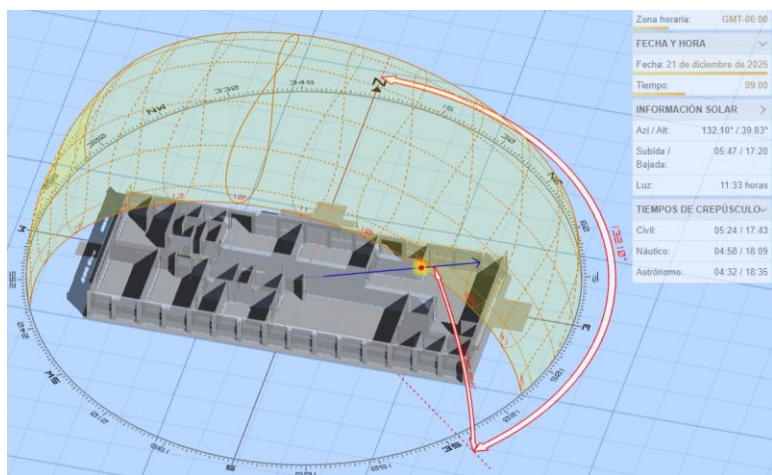
El sol se ubica en un azimut de -67.60° (oeste-noroeste) con una altura de 39.93° , proyectando sombras más largas e dirección

contraria (hacia el noreste). La incidencia se concentra sobre las fachadas oeste y noroeste, lo que incrementa el riesgo de sobrecalentamiento en horas de la tarde. Este comportamiento demanda la implementación de estrategias pasivas o materialidad que disminuyan la carga térmica, así como estrategias de ventilación cruzada para disipar el calor acumulado en el interior.

Solsticio 21 de diciembre

- 9:00 horas

Figura 35. Proyección solar sobre el G5 el 21 de diciembre a las 9:00h.



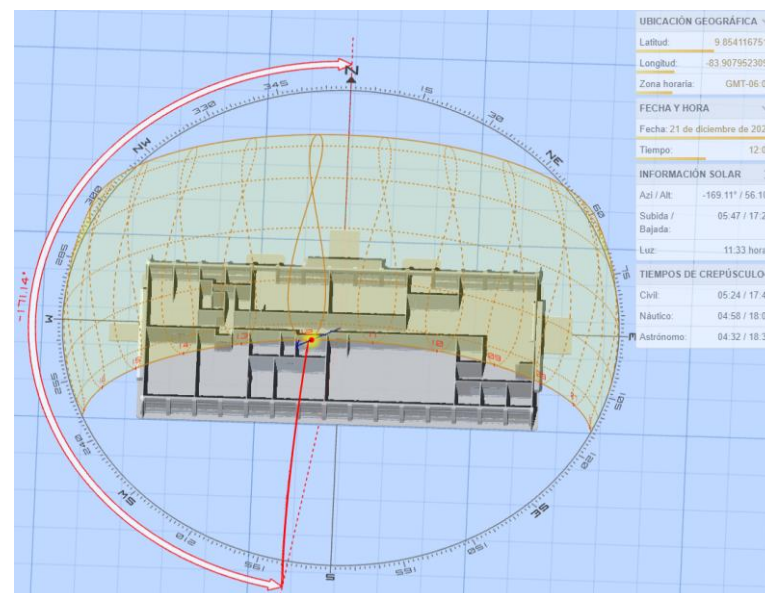
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

En este periodo, la incidencia se dirige a las fachadas este y sureste, con una radiación más rasante en comparación con junio.

Esto se traduce en un mayor ingreso de radiación directa a los recintos interiores, que puede resultar beneficiosa para la ganancia térmica pasiva en temporada fresca, aunque debe regularse mediante protecciones como aleros para evitar deslumbramientos.

- 12:00 horas

Figura 36. Proyección solar sobre el G5 el 21 de diciembre a las 12:00h.



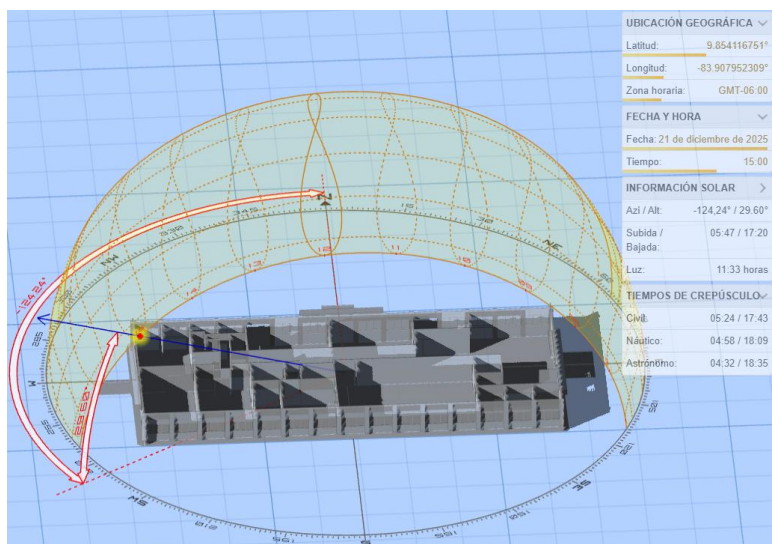
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

Al mediodía, el sol se ubica en un azimut de -169.11° (sur) y a una altura de 56.10° . En esta posición, la fachada sur recibe una incidencia significativa, por lo que las ventanas orientadas hacia

esta dirección deben contar con protecciones horizontales que limiten la radiación directa.

- **15:00 horas**

Figura 37. Proyección solar sobre el G5 el 21 de diciembre a las 15:00h.



Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

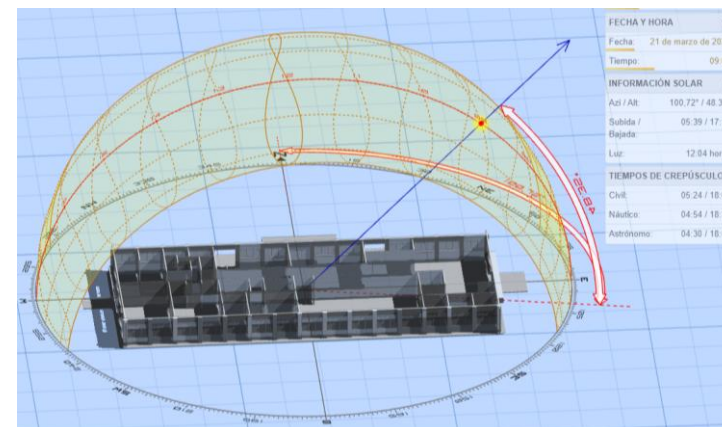
El sol se encuentra en un azimut de -124.24° (suroeste) y a una altura baja de 29.00° , proyectando sombras largas en dirección opuesta (noreste). Esta condición afecta principalmente las fachadas oeste y suroeste, intensificando la carga térmica y la

incidencia de radiación. Dado que coincide con horarios de ocupación de aulas u oficinas, es indispensable contar con protecciones verticales profundas, vegetación densa o parasoles móviles que disminuyan la radiación sin afectar la ventilación e iluminación natural.

Equinoccio 21 de marzo

- **9:00 horas**

Figura 38. Proyección solar sobre el G5 el 21 de marzo a las 9:00h.



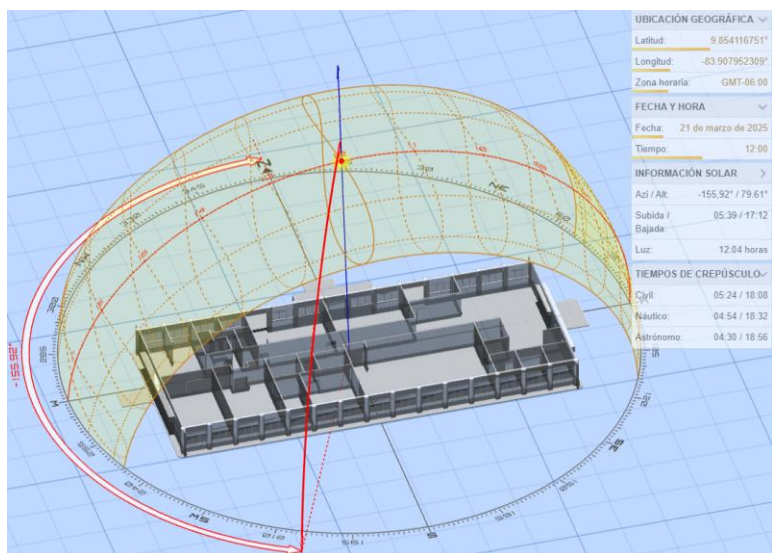
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

En la mañana, el sol se encuentra en un azimut de 100.72° (este) con una altura de 48.35° . La fachada este recibe la mayor radiación directa, lo que mejora la iluminación natural en las

primeras horas, pero requiere de protecciones verticales para evitar deslumbramientos excesivos.

- 12:00 horas

Figura 39. Proyección solar sobre el G5 el 21 de marzo a las 12:00h.



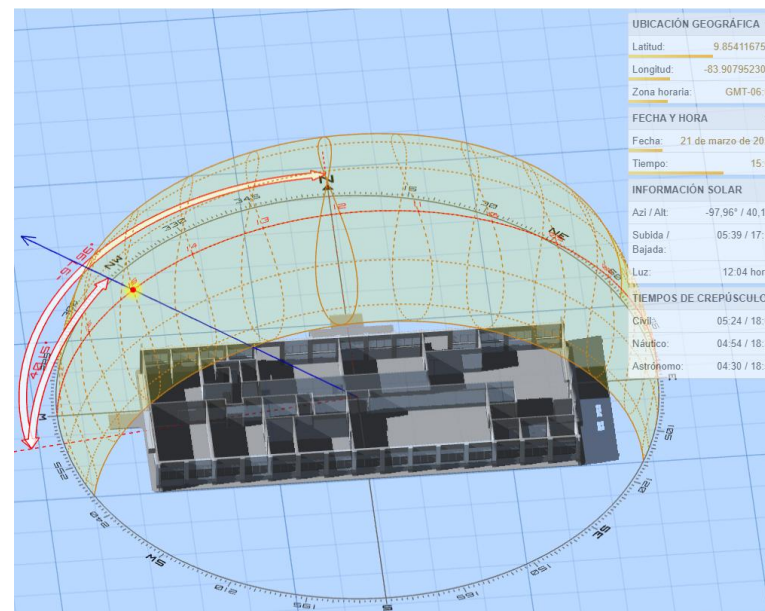
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

Al mediodía el sol alcanza un azimuth de -155.92° (suroeste) con una altura de 79.61° , siendo prácticamente cenital. La radiación incide casi en su totalidad sobre las cubiertas, mientras que las fachadas verticales reciben muy poca radiación directa. Esta

condición refuerza la necesidad de aislar térmicamente los techos y aprovechar la radiación en sistemas de captación solar.

- 15:00 horas

Figura 40. Proyección solar sobre el G5 el 21 de marzo a las 15:00h.



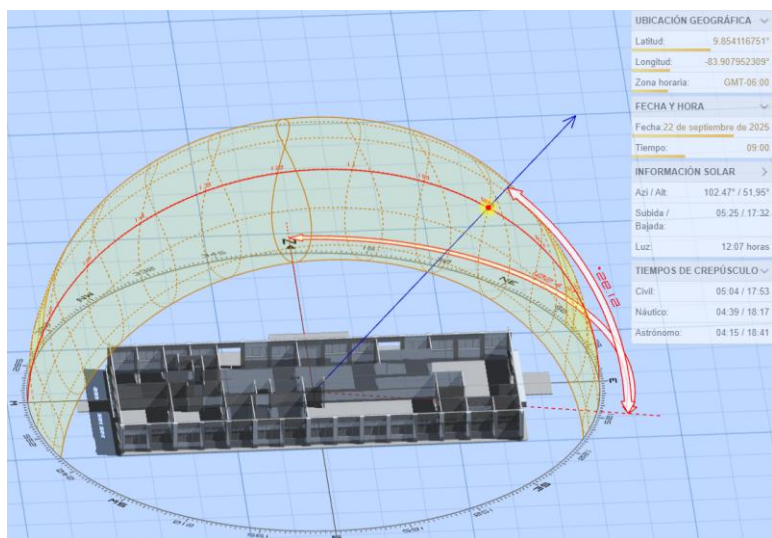
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

El sol se encuentra en un azimuth de -97.96° (oeste) y una altura de 40.15° . La radiación se concentra sobre la fachada **oeste**, generando riesgos de sobrecalentamiento y deslumbramiento en horas de la tarde.

Equinoccio 22 de setiembre

- 9:00 horas

Figura 41. Proyección solar sobre el G5 el 22 de setiembre a las 9:00h.



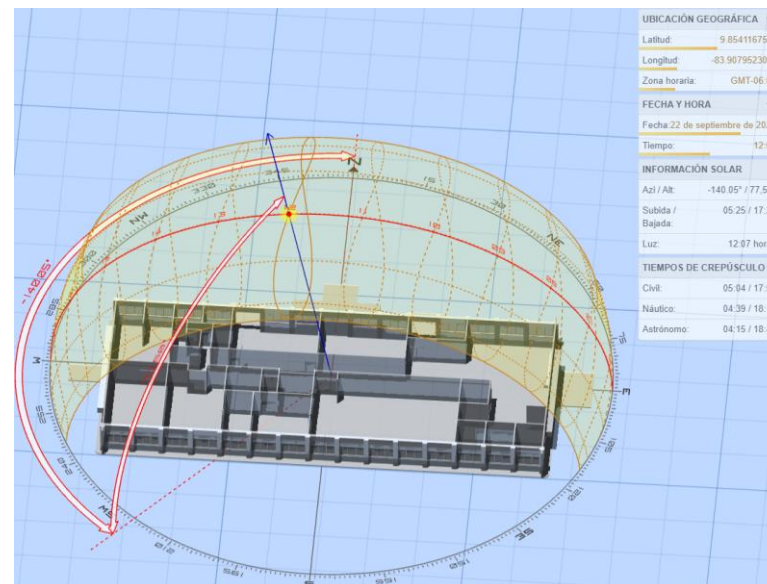
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

Por la mañana, el sol presenta un azimuth de 102.47° (este) y una altura de 51.95° , con sombras que se proyectan hacia el oeste. La incidencia se da principalmente sobre la fachada este, con radiación directa intensa en horas de la mañana. La condición es favorable para iluminación natural, pero debe controlarse con

estrategias pasivas que permitan el paso de la luz difusa sin sobrecalentamiento.

- 12:00 horas

Figura 42. Proyección solar sobre el G5 el 22 de setiembre a las 12:00h.



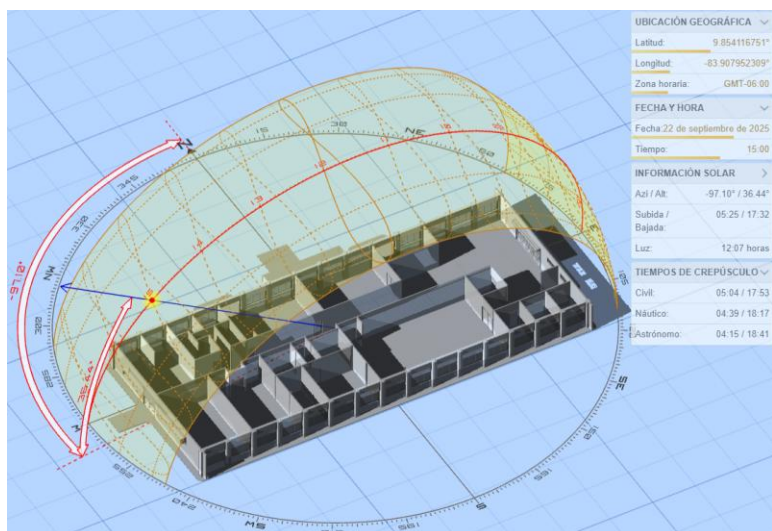
Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

Al mediodía el sol se ubica en un azimuth de -140.05° (suroeste) y alcanza una altura de 77.50° . En este caso, las cubiertas reciben la mayor parte de la radiación, mientras que las fachadas tienen baja exposición. Esta condición refuerza la importancia de cubiertas

con alta reflectancia y aislamiento térmico, así como la posibilidad de integración de sistemas solares fotovoltaicos.

- 15:00 horas

Figura 43. Proyección solar sobre el G5 el 22 de setiembre a las 15:00h.



Nota: Se proyecta el edificio actual del G5 en la herramienta Sunpath 3D para visualizar la trayectoria solar.

El sol se encuentra en un azimut de -97.10° (oeste) con una altura de 36.44° . La radiación incide de manera directa sobre la fachada oeste, con penetración profunda debido a la baja altura solar. Esto provoca cargas térmicas relevantes en la tarde, que deben controlarse mediante estrategias pasivas o activas en el edificio.

Estrategias de diseño a considerar con base a los recorridos solares

- Implementar parasoles verticales o celosías en fachadas este y oeste para mitigar el sobrecalentamiento en mañanas y tardes.
- Diseñar techos con aislamiento térmico elevado y materiales de alta reflectancia para mitigar la carga térmica en horas cenitales.
- Incluir inclinación y disposición óptima para la captación fotovoltaica.
- Utilizar muros de baja inercia térmica con aislamiento, evitando acumulación de calor en periodos de alta radiación.
- Colocar ventanas en correspondencia con los vientos dominantes para favorecer la ventilación cruzada.
- Organizar los espacios en galerías o corredores que faciliten ventilación cruzada permanente.
- Incorporar elementos como tragaluces controlados o reflectores solares que capten y difundan la luz natural.
- Diseñar drenajes pluviales de alta capacidad para responder a precipitaciones intensas.

2.4.8. Zona de vida

Para el cálculo y la clasificación de una zona de vida de Holdridge en Costa Rica se necesita los datos de la biotemperatura del lugar en estudio, la localización, altitud y el dato de la precipitación anual.

Para obtener el dato de la biotemperatura se trabaja con las temperaturas mínimas, medias y máximas del lugar en estudio, donde se aplica un factor de corrección si la temperatura promedio sobrepasa los 24°C. Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$t_{bio} = t - \left[\left(\frac{3 \cdot \text{grados latitud}}{100} \right) \cdot (t - 24)^2 \right]$$

Donde:

t_{bio} : Biotemperatura en °C

t : Temperatura promedio en °C

A continuación, se muestra el cálculo de la biotemperatura según los datos de la estación 73123 – Cartago, Estación Tecnológico de Costa Rica:

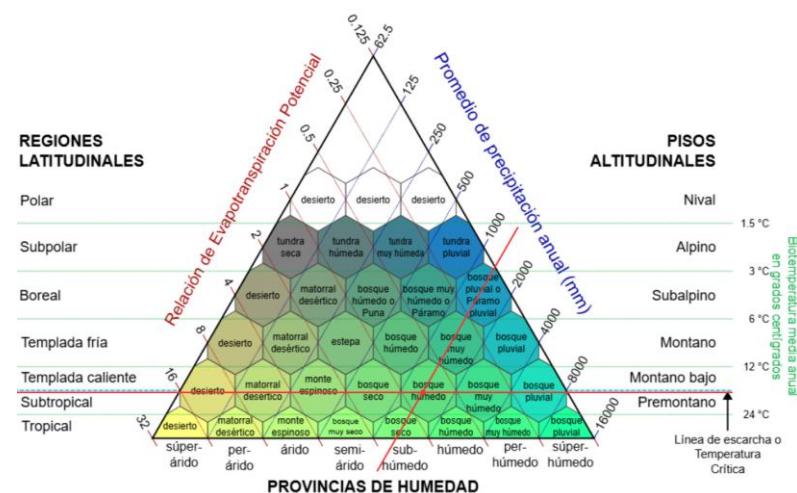
t_{bio} : 18,34 °C

Altitud: 1.435 msnm.

Precipitación anual: 1 463,5mm

Se proyectan las líneas y se identifica el punto de intersección de estas, como se detalla en la siguiente figura:

Figura 44. Clasificación de la zona de vida de la estación 73123 – Cartago, Estación Tecnológico de Costa Rica



Nota: Se proyecta la clasificación bajo la imagen obtenida de Salas, A. (2024)

El resultado correspondiente de la zona de vida para el sitio en estudio es **Bosque Húmedo Premontano (bh-P)**

Características de la zona de vida

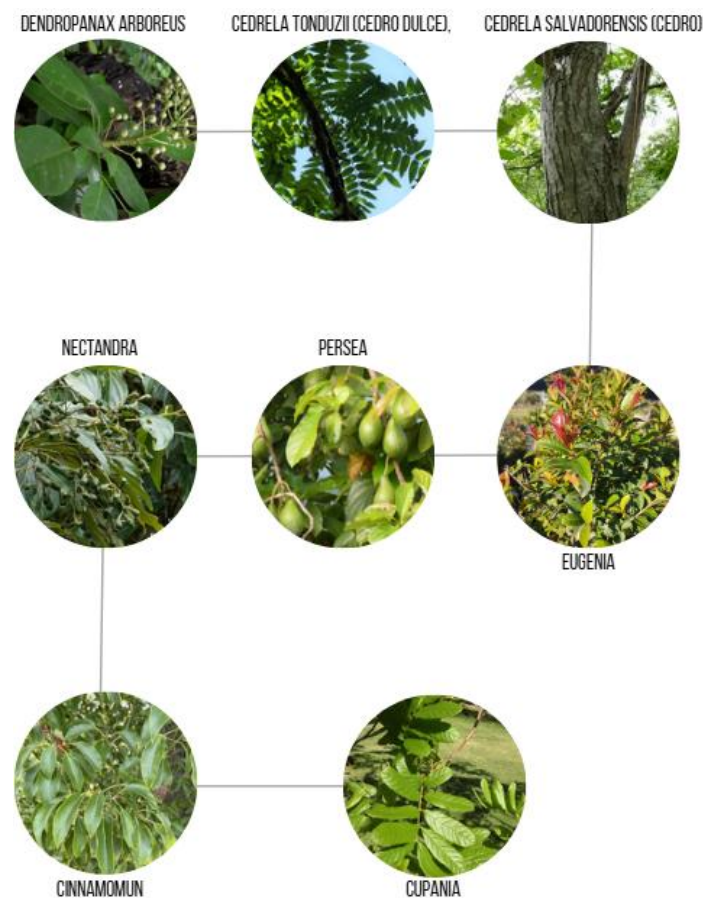
Según el INA (s.f.) y Cascante y Estrada (2001), algunas de las características principales de esta zona de vida son las siguientes:

- El ámbito de precipitación para esta zona de vida varía entre 1200 y 2200 mm
- Se caracteriza por presentar un clima cálido-húmedo con

una marcada estacionalidad: lluvias abundantes durante gran parte del año y una estación seca corta.

- Presenta una biotemperatura media anual de 18°C a 24°C.
- Rango de altitud en el Pacífico es de 600 a 1600 msnm y en el Caribe de 400 a 1500 msnm.
- En temas de conservación, es uno de los ecosistemas más fragmentados y reducidos de Costa Rica, con una cobertura original muy disminuida.
- En esta zona se presentan extensas áreas de suelos volcánicos, fértiles donde el bosque original mayormente ha desaparecido, ejemplo el Valle Central
- Entre las especies características de esta zona de vida están los géneros Nectandra, Persea, Cinnamomun de la Familia Lauraceae, Cupania de la Familia Sapindaceae, Eugenia de la familia Myrtaceae, Cedrela salvadorensis (cedro), Cedrela tonduzii (cedro dulce), Albizia adinocephala (carboncillo), Dendropanax arboreus (fosforillo).

Figura 45. Especies características del Bosque Húmedo Premontano

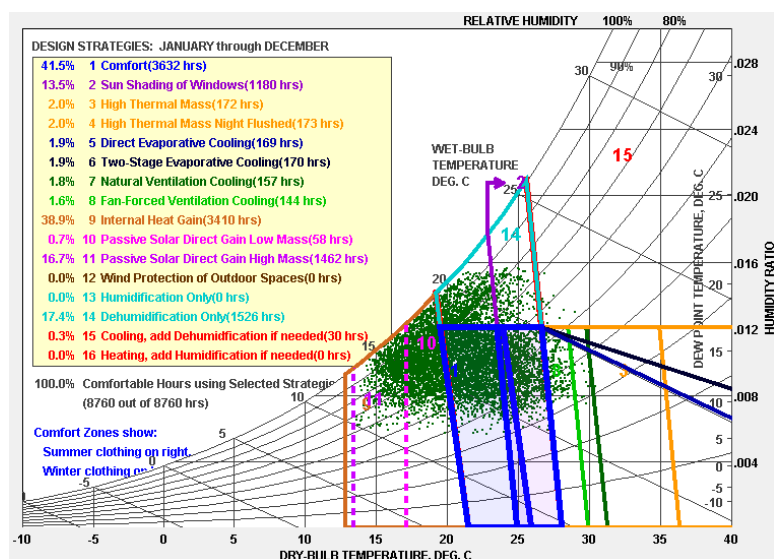


Nota: Elaboración propia.

2.4.9. Climate Consultant

Con base a los datos climáticos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con el archivo EPW de la estación 73123 – Cartago, Estación Tecnológico de Costa Rica, se utiliza la herramienta Climate Consultant para realizar una valoración de las posibles estrategias pasivas y activas que se pueden utilizar en el proyecto de intervención arquitectónica.

Figura 46. Carta bioclimática de Givoni



Nota: Se utiliza la herramienta Climate Consultant con los datos EPW suministrados por el IMN.

Con base a la carta bioclimática, se observa que el 41,5% del tiempo anual las condiciones ambientales se mantienen dentro de la zona de confort, lo cual representa un punto de partida favorable para el diseño arquitectónico. Sin embargo, este dato también revela que cerca del 60% de las horas del año requieren la implementación de estrategias pasivas o activas que permitan garantizar un nivel adecuado de habitabilidad.

De esta manera, la prioridad en el diseño no debe centrarse únicamente en las horas de confort, sino en aquellas franjas en las que la radiación solar, la temperatura y la humedad relativa superan los umbrales de tolerancia para el confort humano.

Dentro de las estrategias pasivas más relevantes destaca el sombreado de ventanas (aleros), que corresponde a un 13,5% de las horas anuales. Esto confirma que la radiación solar directa constituye uno de los principales factores de condiciones no confortables para los usuarios, especialmente en fachadas este y oeste.

El uso de elementos como aleros, celosías o parasoles verticales se vuelve indispensable para reducir las ganancias térmicas y al mismo tiempo, controlar los deslumbramientos.

En paralelo, la ventilación natural, aunque representa un 1,8% de horas de aplicación, constituye un recurso fundamental para garantizar la circulación del aire y la disipación del calor acumulado en los espacios interiores. La disposición de los vanos

o aperturas debe responder a la dirección de los vientos dominantes, favoreciendo la ventilación cruzada.

El gráfico también señala que una fracción importante de las condiciones no favorables para los usuarios proviene de las cargas internas, representando un 38,9% del total. Esto evidencia que el calor generado por la ocupación, los equipos y la iluminación artificial desempeña un papel significativo en el sobrecalentamiento interior.

En consecuencia, el diseño arquitectónico debe contemplar la reducción de estas cargas mediante iluminación LED de alta eficiencia, dispositivos y/o aparatos electrónicos de bajo consumo y un diseño lumínico que aproveche al máximo la iluminación natural difusa sin incrementar las ganancias solares directas.

En cuanto al control térmico de la envolvente, las estrategias relacionadas con la masa térmica presentan un aporte limitado, cercano al 2% de las horas. Esto sugiere que, en este tipo de clima, la utilización de muros pesados o cubiertas con alta inercia térmica no resulta prioritaria, por tanto, se debe optar por soluciones constructivas ligeras y bien aisladas que reduzcan la transmisión de calor hacia el interior y faciliten la disipación nocturna.

Finalmente, la humedad constituye un factor crítico, ya que el 17,4% del tiempo las condiciones de no confortables para los usuarios están vinculadas a valores elevados de humedad relativa que generan incomodidad aun en rangos moderados de

temperatura, en este sentido, se debe considerar el uso de materiales higroscópicos que contribuyan a regular la humedad ambiental, además de implementar ventilación controlada.

Por otra parte, la carta muestra que no se requieren estrategias asociadas a calefacción o humidificación, lo que confirma que el diseño debe concentrarse en la protección solar, el manejo de la ventilación y el control de la humedad.

El análisis bioclimático señala que el diseño arquitectónico del proyecto debe orientarse hacia una arquitectura ligera, ventilada y sombreada, en donde las estrategias pasivas constituyan el eje central de la propuesta.

La protección solar integral, la ventilación cruzada, la reducción de cargas internas y el manejo de la humedad relativa se perfilan como los aspectos más relevantes para alcanzar un nivel de confort aceptable durante la mayor parte del año, reduciendo así la dependencia de sistemas mecánicos de climatización y promoviendo un modelo de edificación más sostenible y eficiente.

2.4.10. Tablas de Mahoney

A continuación, se muestran los resultados de las tablas con base a la información climática suministrada por el IMN.

Figura 47. Tablas de Mahoney



Nota: Se utiliza la herramienta Bioclimarq 2020 con los datos suministrados por el IMN

Con base a la figura anterior, la configuración en planta con orientación norte-sur y eje largo este-oeste constituye un acierto desde la perspectiva bioclimática, ya que permite un mejor control de la radiación solar incidente sobre las fachadas principales. Esta disposición minimiza la exposición a la radiación directa en horas críticas de la mañana y la tarde, cuando el sol incide con mayor agresividad sobre las fachadas este y oeste.

La configuración compacta del edificio, con espacios adyacentes entre sí, responde a criterios de eficiencia espacial y energética, ya

que reduce la superficie expuesta al exterior y, por tanto, las pérdidas o ganancias térmicas indeseadas. Sin embargo, una excesiva compacidad puede comprometer la ventilación natural si no se articula correctamente la organización espacial.

En cuanto al diseño de vanos, se plantea una proporción elevada, del 50 al 80% de la superficie de fachada. Esta característica favorece la iluminación natural y la ventilación, pero también implica un riesgo de sobrecalentamiento y deslumbramiento si no se controla adecuadamente.

La posición de los vanos a la altura de los ocupantes y en la dirección de los vientos dominantes representa una estrategia efectiva para maximizar el confort térmico y la calidad del aire interior, siempre que se integre con mecanismos de protección solar como aleros, persianas, celosías o parasoles, de no hacerlo, las ventajas de la apertura se verían neutralizadas por los efectos adversos de la radiación solar directa.

La propuesta de sombreado total y permanente de los vanos se presenta como una estrategia preventiva contra la ganancia térmica excesiva. Sin embargo, esta solución debe aplicarse con un enfoque crítico, ya que el sombreado absoluto puede reducir la disponibilidad de luz natural y aumentar la dependencia de iluminación artificial durante el día. En lugar de un sombreado permanente rígido, se debe integrar sistemas dinámicos o mixtos

(como parasoles móviles) que permitan modular la radiación en función de la época del año y las necesidades de los usuarios.

Respecto a los materiales, la selección de muros y pisos ligeros de baja capacidad calorífica responde adecuadamente a un clima donde las oscilaciones térmicas no requieren una fuerte inercia térmica. Esta decisión facilita que los espacios interiores no acumulen calor excesivo, lo cual, en combinación con cubiertas ligeras y bien aisladas, contribuye a mantener el confort térmico.

La recomendación de no destinar los exteriores como lugares de estancia es coherente en zonas con condiciones climáticas adversas de radiación o humedad y de constante precipitación, aunque puede reducir la interacción del edificio con su entorno inmediato. En este sentido, se podrían valorar soluciones intermedias como espacios semiabiertos, terrazas sombreadas o corredores techados que permitan cierta conexión con el exterior sin exponer directamente a los usuarios a condiciones no tan confortables.

3. Definición conceptual del programa arquitectónico

El presente apartado desarrolla la definición conceptual del programa arquitectónico para la ampliación y remodelación del edificio G5 para la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO). Este proceso constituye una etapa fundamental dentro del diseño, ya que permite traducir las necesidades identificadas previamente en criterios espaciales, funcionales y ambientales que orientan la configuración del proyecto.

La definición del programa arquitectónico no se limita a la enumeración de espacios, sino que integra un análisis que considera variables como el comportamiento climático del sitio, los flujos de circulación, la conectividad interna, la flexibilidad de uso y las condiciones de confort ambiental, de esta manera, el programa se convierte en una herramienta estratégica que articula las necesidades de los usuarios con las condiciones físicas y normativas del entorno.

Asimismo, este apartado incorpora los resultados de instrumentos de diagnóstico, como encuestas aplicadas a la comunidad universitaria, así como referentes teóricos de la arquitectura educativa que permite fundamentar la propuesta desde una base técnica y conceptual sólida.

3.1. Necesidades espaciales y funcionales del G5 y la EICO

Este apartado identifica y analiza las necesidades espaciales y funcionales del edificio G5 en su condición actual, así como los requerimientos que debe satisfacer la EICO. Para ello, se parte de un enfoque integral que combina el diagnóstico del estado existente con la proyección de una infraestructura académica acorde con los estándares de diseño educativo.

El análisis considera tanto aspectos cuantitativos, relacionados con la cantidad y dimensión de los espacios requeridos, como aspectos cualitativos vinculados al confort ambiental, la accesibilidad, la calidad del espacio y la experiencia del usuario. En este sentido, se reconoce que la infraestructura educativa debe evolucionar hacia modelos más flexibles, inclusivos y sostenibles, capaces de adaptarse a nuevas metodologías de enseñanza y a dinámicas académicas cambiantes.

Adicionalmente, este apartado incorpora el estudio de variables clave como la circulación interna, la conectividad vertical, los condicionantes bioclimáticos y la adaptabilidad de los espacios, los cuales influyen directamente en la organización del programa arquitectónico. La integración de estos factores permite establecer criterios de diseño que optimicen el funcionamiento del edificio, mejoren el confort de los usuarios y reduzcan la dependencia de sistemas mecánicos.

En conjunto, este análisis sienta las bases para la formulación de una propuesta arquitectónica coherente, donde la distribución espacial, la relación entre áreas y las estrategias de diseño respondan de manera directa a las necesidades identificadas, posicionando al proyecto como un referente en sostenibilidad, funcionalidad e innovación dentro del contexto universitario

3.1.1. Resultados de la encuesta aplicada

El análisis de la encuesta aplicada a estudiantes, personal administrativo y docentes de la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO) permite identificar de forma clara las debilidades estructurales y funcionales de la actual infraestructura, así como las prioridades que la comunidad universitaria considera fundamentales para una nueva infraestructura.

La encuesta digital fue aplicada a una muestra de 20 participantes pertenecientes a la comunidad de la Escuela de Ingeniería en Construcción, incluyendo estudiantes (18 personas) y docentes (2 personas). El instrumento permitió obtener información cualitativa y cuantitativa relacionada con las condiciones actuales de la infraestructura y las prioridades de diseño para la propuesta arquitectónica. Aunque la muestra corresponde a un muestreo no probabilístico por conveniencia, los resultados permiten identificar tendencias relevantes sobre la percepción de los

usuarios respecto al confort, funcionalidad y accesibilidad de los espacios actuales.

En cuanto a los resultados, los aspectos más críticos señalados son la accesibilidad, la ventilación natural y el confort ambiental. La mayoría de los participantes evaluó la accesibilidad como *deficiente o muy deficiente*, lo cual refleja una falta de cumplimiento con la Ley 7600.

Las respuestas destacan problemas como la ausencia de rampas adecuadas o la inexistencia de alternativas de movilidad para personas con discapacidad. La iluminación natural también obtuvo calificaciones bajas, particularmente entre los estudiantes, quienes señalaron que las aulas y laboratorios no aprovechan la radiación solar disponible y dependen excesivamente de iluminación artificial.

Respecto a la ventilación y confort térmico, se subraya la falta de ventilación cruzada, lo cual genera acumulación de calor en las aulas y dificulta el desarrollo de las actividades académicas. Este punto se relaciona directamente con percepciones de *incomodidad térmica*, que afectan tanto la concentración como el rendimiento académico.

El confort acústico aparece como otro aspecto deficitario: los encuestados reportan que las aulas no cuentan con el acondicionamiento adecuado para garantizar claridad auditiva, lo

cual se agrava en oficinas pequeñas donde los docentes no pueden atender a grupos completos.

En cuanto a los espacios de docencia y para estudiantes, las valoraciones son también negativas, ya que indican que no existen suficientes zonas de estudio, áreas comunes o espacios para la interacción, lo cual limita el sentido de pertenencia y la cohesión dentro de la Escuela. Además, la percepción generalizada es que la infraestructura es antigua, poco estética y obsoleta tecnológicamente, lo que genera una imagen institucional débil frente a otras escuelas de ingeniería.

Un análisis crítico de estos resultados muestra que la infraestructura actual no solo presenta deficiencias funcionales y de confort, sino también problemas simbólicos e identitarios. Al compartir espacios con otras unidades académicas, la EICO pierde presencia y representatividad, lo que afecta la percepción que los propios estudiantes y docentes tienen de su Escuela.

Dentro de los resultados más relevantes se detalla el siguiente gráfico:

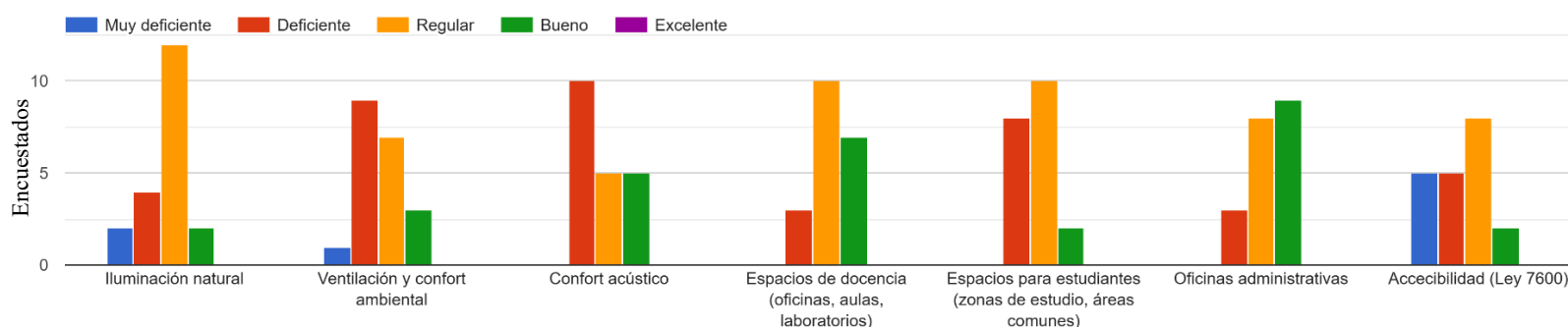
De cara a una nueva propuesta de diseño, la comunidad universitaria enfatiza como prioridades:

1. Accesibilidad universal como principio rector.
2. Estrategias pasivas de confort (iluminación natural, ventilación cruzada, acústica adecuada).

3. Espacios modernos y flexibles para la docencia, el estudio y la convivencia.
4. Infraestructura con identidad propia, que refleje la esencia de la ingeniería en construcción.
5. Equipamiento tecnológico actualizado que permita enseñanza de calidad.

Gráfico 5. Encuesta de condiciones actuales de los espacios físicos de la EICO

¿Cómo califica las condiciones actuales de los espacios físicos de la Escuela en los siguientes aspectos?



Nota: Elaboración propia, los datos fueron suministrados por el IMN.

En primer lugar, la iluminación natural aparece como uno de los aspectos más críticos: la mayoría de los encuestados la calificó como *regular*, evidenciando problemas en la provisión de luz natural. Esto no solo afecta la eficiencia energética, al incrementar

la dependencia de iluminación artificial, sino que también impacta en el confort visual y el rendimiento académico.

En cuanto a la ventilación y confort ambiental, predominan las calificaciones *deficientes* y *regulares*. Este resultado refleja la ausencia de estrategias pasivas adecuadas de ventilación cruzada

o control térmico, lo que repercute directamente en la calidad del ambiente interior. Esto se relaciona con los comentarios obtenidos en otros análisis climáticos, donde la ventilación resulta crucial en el contexto local.

El confort acústico presenta una situación intermedia, con respuestas distribuidas entre *regular*, *bueno* y *deficiente*. Si bien no es el aspecto más crítico, sí señala que los espacios carecen de un adecuado tratamiento acústico, lo que podría afectar las dinámicas de enseñanza-aprendizaje, especialmente en aulas con alta ocupación o cercanas a fuentes de ruido externo.

Respecto a los espacios de docencia (aulas, laboratorios y talleres), así como los espacios para estudiantes (áreas comunes y zonas de estudio), ambos muestran un predominio de calificaciones negativas (*deficiente* y *regular*). Este hallazgo evidencia la insuficiencia tanto en cantidad como en calidad de los espacios destinados al proceso formativo, lo que limita la funcionalidad académica y la interacción entre los estudiantes.

En contraste, las oficinas administrativas obtienen mejores calificaciones, con una tendencia hacia *regular* y *bueno*. Esto refleja que se ha puesto mayor atención en estas áreas, probablemente por exigencias normativas y operativas, aunque no necesariamente en la misma proporción en el resto de la infraestructura.

Por último, en cuanto a la accesibilidad (cumplimiento de la Ley 7600) se obtuvieron respuestas dentro de la clasificación de muy *deficiente*, *deficiente* y *regular*, evidenciando la falta de accesibilidad para todos los usuarios.

Los resultados de la encuesta no solo reflejan carencias materiales, sino también una brecha entre la infraestructura actual y las necesidades contemporáneas de la educación superior en ingeniería. Esta brecha debe asumirse como una oportunidad para proyectar una ampliación y remodelación que no solo resuelva deficiencias, sino que impulse a la Escuela como un referente en sostenibilidad, identidad y calidad académica.

3.1.2. Análisis de flujos de circulación interna y conectividad vertical

El análisis de la circulación interna del G5 evidencia que el sistema actual no responde a los estándares contemporáneos de diseño educativo, los pasillos angostos, la falta de jerarquía circulatoria y la ausencia de un núcleo vertical accesible dificultan el desplazamiento y fragmentan la experiencia del usuario.

Estos problemas se incrementan en horas pico, donde el flujo simultáneo de estudiantes, docentes y personal administrativo provoca congestión en puntos críticos. La literatura en arquitectura educativa señala que la circulación constituye un

elemento estructural en los edificios de formación, pues determina la calidad de interacción y el funcionamiento del programa.

Proyecto Progreso Arquitectura (2017) enfatiza que en los espacios educativos debe existir “una continuidad visual que permite el control de las situaciones que se desarrollan en el edificio” (p.135) y que las estructuras espaciales deben ser “lo más flexibles posible, tanto en el interior como en el exterior” (p.135). Esta continuidad espacial implica circulaciones amplias, fluidas y articuladas en el edificio.

Asimismo, el documento subraya que la arquitectura educativa contemporánea tiende a eliminar barreras físicas y permitir “una libertad de movimiento total para los usuarios” (p.135). Esto coincide directamente con las necesidades detectadas en la encuesta aplicada a estudiantes y docentes, quienes reportaron problemas para desplazarse entre aulas y áreas administrativas.

La accesibilidad universal, sin embargo, es un principio rector: los espacios deben estar diseñados desde la inclusión, no como un añadido posterior.

En consecuencia, la propuesta debe incorporar:

- Un núcleo vertical accesible (ascensor y escaleras normativas).
- Pasillos con amplitud suficiente.
- Continuidad visual.
- Rutas de evacuación claras y jerarquizadas.

3.1.3. Condicionantes bioclimáticos que influyen en el programa

El clima de Cartago obliga a considerar estrategias de confort pasivo debido a sus temperaturas frescas, fuertes vientos y nubosidad frecuente. La arquitectura bioclimática resalta que el comportamiento térmico de un edificio depende tanto de la orientación y ventilación como de su inercia térmica.

Zambrano y Castro (2020) explican que “una elevada inercia térmica permite obtener una temperatura siempre estable en el interior de los edificios, con independencia de las variaciones térmicas exteriores” (p.767). Dado que el G5 está en una zona fría y ventosa, incorporar masa térmica moderada y proteger las fachadas expuestas se vuelve indispensable.

De igual forma, recomiendan estrategias para “transferir calor (y fresco) de unas estancias a otras” (p.767) cuando ciertas zonas no puedan calentarse o ventilarse naturalmente, lo cual es relevante para la distribución de las necesidades espaciales de la EICO.

Por tanto, la propuesta debe considerar:

- Ventilación cruzada en espacios de alta ocupación.
- Orientación adecuada de aulas.
- Celosías móviles para controlar radiación y ventilación.
- Envoltentes con inercia térmica.

3.1.4. Lineamientos conceptuales para la flexibilidad y adaptabilidad de uso

La flexibilidad y adaptabilidad son componentes esenciales para una sede académica contemporánea, donde las metodologías de enseñanza evolucionan de forma constante. La literatura sobre arquitectura flexible aporta fundamentos sólidos para justificar esta necesidad.

Pinto Campos (2019) indica que “la arquitectura adaptable es aquella que se ajusta a los diferentes cambios producidos” (p.56) y que debe reconocer la dinámica temporal, acoger nuevas funciones, usos y necesidades en el transcurso del tiempo. Esta afirmación respalda la inclusión de aulas modulares, espacios de coworking flexibles y áreas reconfigurables según la demanda académica.

La flexibilidad no solo es espacial; también es tecnológica. Las instalaciones deben ser “configuraciones móviles que necesitan predisponer de flexibilidad suficiente para favorecer el cambio con calidad y eficiencia” (p.58). Esto aplica directamente a la infraestructura del G5, donde redes eléctricas, datos y mobiliario requieren constante actualización.

Asimismo, Pinto Campos (2019) sostiene que la arquitectura flexible se transforma o [...] se adapta, pues es flexible a los

cambios y debe estar pensada para tal y que dicha flexibilidad se refleja en la durabilidad, adaptación, interactividad y movilidad del edificio. (p.272)

Finalmente, la autora refuerza que estos criterios permiten evitar o minimizar gastos futuros y que la adaptabilidad es esencial en edificios de uso intensivo como los educativos.

Así, los lineamientos conceptuales incluyen:

- Modulación estructural para reconfiguración
- Mobiliario adaptable
- Espacios híbridos
- Instalaciones flexibles y actualizables

3.1.5. Áreas funcionales y relaciones espaciales

La definición del programa requiere establecer las áreas funcionales principales y sus relaciones. En el caso de la EICO, estas se articulan en torno a tres grupos:

Áreas académicas

Incluyen aulas, laboratorios, talleres, salas de cómputo y espacios de apoyo. Estas áreas deben estar próximas entre sí, articuladas mediante circulaciones claras y jerarquizadas. Proyecto Progreso Arquitectura (2017) subraya que la continuidad espacial permite “el control de las situaciones que se desarrollan en el edificio” (p.

135), lo cual favorece la supervisión docente y la orientación de los estudiantes.

Áreas administrativas

Deben ubicarse próximas al acceso principal y articuladas con los espacios de recepción y atención al público. Requieren privacidad acústica y visual.

Áreas comunes y de integración

Incluyen espacios de estudio, coworking, zonas de descanso y áreas multifuncionales. Pinto Campos (2019) afirma que la arquitectura adaptable debe acoger nuevas funciones, usos y necesidades en el transcurso del tiempo, por lo que estas áreas deben ser flexibles y configurables.

3.2. Estudio de sistemas constructivos

La elección del sistema constructivo adecuado para la ampliación y remodelación de la EICO, incorporada dentro del edificio existente del G5, debe responder simultáneamente a criterios estructurales, funcionales, patrimoniales y de intervención mínima sobre la edificación original. Dado que el G5 es uno de los edificios más antiguos del TEC y presenta una estructura que no cumple con los lineamientos actuales del Código Sísmico de Costa Rica, cualquier solución constructiva debe permitir

preservar la edificación y ejecutar únicamente las adaptaciones estrictamente necesarias.

En la arquitectura escolar latinoamericana, los procesos de estandarización y modulación han demostrado su capacidad para combinar eficiencia constructiva con cierta flexibilidad espacial. Torres et al. (2024) señalan que la estandarización moderna se apoyó en sistemas constructivos industrializados desarrollados en base a módulos y elementos prefabricados, permitiendo repetición de soluciones sin renunciar a variaciones formales y de uso. En este contexto, la separación entre estructura portante y cerramientos ligeros facilita reconfigurar espacios interiores, algo particularmente pertinente para una escuela de ingeniería que requiere laboratorios, aulas y espacios de trabajo colaborativo que cambian en el tiempo.

Desde la experiencia costarricense en equipamientos educativos, Sánchez Méndez (2017) subraya que, para centros de enseñanza con programas especializados, los sistemas constructivos deben favorecer adaptaciones progresivas sin recurrir a intervenciones costosas o traumáticas para los usuarios. En su proyecto para el Instituto Andrea Jiménez, el autor destaca la importancia de proyectar con una estructura capaz de realizar cambios con el menor esfuerzo posible y el menor gasto de recursos, asociando

esta capacidad de transformación a la flexibilidad del sistema constructivo y al uso de elementos ligeros y modulares.

A partir de esta revisión y del contexto específico del G5, se consideran tres familias de sistemas constructivos como base para la propuesta:

3.2.1.Sistema de marcos rígidos de acero con losas de concreto armado

Este sistema combina pórticos metálicos en dirección longitudinal y transversal con losas de concreto armado de pequeño espesor (5–10 cm como losa colaborante o de compresión), apoyadas sobre los elementos metálicos.

La principal ventaja es su gran esbeltez y ligereza, que permite luces mayores en aulas y laboratorios, reduciendo la cantidad de apoyos intermedios y liberando la planta para configuraciones más flexibles.

La estructura metálica, adecuadamente protegida frente a la corrosión, se adapta bien a intervenciones de ampliación vertical o horizontal mediante módulos adicionales, manteniendo el funcionamiento del edificio durante fases de construcción.

Este sistema es coherente con la lógica de la arquitectura escolar moderna, donde, como señalan Torres et al. (2024), la estandarización razonable busca soluciones formales diversas con sistemas constructivos iguales, modulados, prefabricados e

industrializados, condición que encaja con la necesidad de crecimiento de la EICO.

Ventajas

- Montaje en seco, rápido y con baja afectación a actividades académicas.
- Alta relación resistencia-peso, permitiendo grandes luces y espacios flexibles.
- Permite ampliaciones futuras y modificaciones sin afectar la estructura original.
- Compatibilidad con losas colaborantes que reducen peso y espesor.
- Capacidad para ejecutarse mediante excavaciones puntuales internas para nuevos cimientos, sin demoler la estructura actual.

Desventajas

- Sensibilidad a la corrosión en climas fríos y húmedos como el de Cartago.
- Requiere inspecciones y mantenimiento periódico de recubrimientos anticorrosivos.
- Necesita una coordinación precisa en obra para evitar conflictos con la estructura existente.
- Mayor necesidad de juntas y conexiones atornilladas/soldadas respecto a sistemas monolíticos.

3.2.2.Sistema de pórticos de concreto reforzado con cerramientos ligeros

En este caso, la estructura principal se resuelve en concreto armado (vigas, columnas y losas), mientras que los cerramientos se trabajan con sistemas livianos (paneles de yeso, fachadas ventiladas, paneles prefabricados).

La ventaja principal es la alta inercia térmica del concreto, que puede resultar favorable en un clima frío al estabilizar las temperaturas interiores; no obstante, el peso propio incrementa las demandas sísmicas y limita en parte la facilidad de futuras reconfiguraciones. Este sistema es robusto y conocido por la industria local, pero presenta mayor rigidez frente a eventuales cambios de programa

Ventajas

- Alta rigidez lateral, buen comportamiento sísmico.
- Masa térmica elevada, útil para estabilizar temperaturas interiores.
- Material muy disponible localmente y de fácil reposición futura.

Desventajas

- Es un sistema pesado, lo cual aumentaría significativamente las cargas sobre una estructura existente que ya presenta limitaciones normativas.

- Requiere excavaciones extensas para nuevos cimientos y fundaciones.
- Proceso constructivo lento, húmedo y ruidoso, con alta interferencia sobre un edificio en uso.
- Poca flexibilidad para modificaciones futuras.
- Dificultad para introducir vigas o columnas de concreto sin demoliciones mayores.

3.2.3.Sistemas mixtos y modulares

Los sistemas mixtos combinan núcleos rígidos de concreto (escaleras, ascensores, servicios) con pórticos y losas metálicas o elementos prefabricados.

Desde la perspectiva de la arquitectura flexible, Sánchez (2017) recuerda que “los principales sistemas constructivos [...] son: el modular, el volumétrico, el de montaje de planchas y el elástico”, destacando su utilidad para edificios que deben adaptarse a nuevas configuraciones pedagógicas.

Ventajas

- Rapidez de montaje.
- Control de calidad desde fábrica.
- Intervención en seco y posibilidad de retiro o reemplazo sencillo.

- Peso reducido que disminuye cargas sobre la edificación existente.

Desventajas

- Las uniones estructurales pueden requerir recalces o anclajes adicionales sobre una estructura antigua, dificultando la compatibilidad.
- Menor rigidez lateral, por lo que requieren refuerzos adicionales para cumplir normativa sísmica costarricense.
- Limitaciones en luces y alturas para laboratorios y aulas de gran dimensión.

3.2.4. Elección del sistema constructivo

A continuación, se presenta un cuadro comparativo con la elección del sistema constructivo:

Cuadro 9. Cuadro comparativo de sistemas constructivos

Criterio	Marcos rígidos de acero	Pórticos de concreto reforzado	Sistemas mixtos
Peso estructural	Muy liviano → independiente del edificio existente.	Muy pesado → incrementa cargas en una estructura antigua.	Moderado → núcleos pesados, resto liviano.
Compatibilidad con estructura existente del G5	Alta. Se apoya en nuevos cimientos internos sin intervenir muros existentes.	Muy baja. Requiere demoliciones, ampliación de fundaciones y refuerzo obligatorio.	Baja. Núcleos de concreto exigen excavaciones profundas.
Intervención en el edificio G5	Mínima, precisa y no intrusiva. Excavaciones puntuales internas.	Alta y agresiva. Requiere intervenir casi toda la estructura.	Alta en zona de núcleos.
Tiempo de construcción	Muy rápido. Montaje en seco.	Lento. Necesita procesos húmedos.	Medio-lento.
Flexibilidad para reconfigurar espacios	Muy alta. Cierres livianos y modulares.	Baja. Acabados y tabiques pesados.	Media.
Posibilidad de ampliación futura	Alta. Se puede añadir módulos sin afectar estructura existente.	Muy baja. Limitada por peso y rigidez.	Media.
Comportamiento sísmico	Muy favorable por su bajo peso y ductilidad.	Bueno estructuralmente, pero carga excesiva para edificio existente.	Bueno en los núcleos, variable en estructura ligera.
Afectación a operaciones del G5 durante obra	Mínima. Poco ruido, poco polvo.	Muy alta. Ruido, polvo, demoliciones.	Media-alta (por ejecución de núcleos).
Necesidad de excavaciones	Puntuales y controladas.	Extensas.	Exige excavaciones grandes en zona de núcleos.
Durabilidad y mantenimiento	Requiere protección anticorrosiva periódica.	Muy durable. Poco mantenimiento.	Alta en núcleos, variable en estructura ligera.
Integración con diseño bioclimático	Excelente. Permite fachadas ventiladas y celosías.	Buena por masa térmica pero poco flexible.	Muy buena en cierres, limitada en núcleos.
Estética y coherencia con el G5	Permite integración discreta y estructura autónoma.	Difícil integración por volumen y peso.	Imagen fragmentada por mezcla de sistemas.
Pertinencia para el proyecto G5–EICO	Adecuada. Compatible con preservación del edificio.	Inadecuada. Exceso de carga y alta intervención.	Inadecuada. Debido a excavaciones profundas.

Considerando los análisis anteriores, las condiciones del G5 y los requerimientos institucionales de conservación del edificio, el sistema constructivo más apropiado es el de marcos rígidos de acero estructural con losas de concreto para entrepiso de 5cm –10 cm. Este sistema permite:

- No intervenir la estructura actual, salvo en puntos específicos para nuevos cimientos internos.
- Realizar una actuación precisa y controlada sobre el edificio patrimonial.
- Ejecutar la obra con mínima afectación a la operación académica.
- Adaptar el nuevo edificio a las exigencias del Código Sísmico de Costa Rica sin cargar excesivamente la estructura existente.
- Garantizar flexibilidad futura para cambios de programa, ampliaciones o redistribuciones espaciales.
- Integrarse adecuadamente al clima frío y ventoso de Cartago, permitiendo fachadas moduladas y manejos precisos de envolvente.

Los marcos metálicos se apoyarán en nuevos cimientos internos, diseñados mediante excavaciones puntuales cuidadosamente planificadas para no comprometer muros ni elementos originales del G5.

De esta manera, el sistema constructivo propuesto se convierte en una estructura autónoma, capaz de coexistir con el edificio existente sin perturbarlo, sosteniendo la nueva propuesta arquitectónica de la EICO y respetando simultáneamente el valor patrimonial e histórico del G5.

3.3. Estudio de materiales

Para el desarrollo de la propuesta es fundamental determinar el uso de materiales a utilizar, tomando en cuenta los sistemas constructivos analizados en el apartado anterior dentro del estudio que se va a realizar a continuación se van a tomar en cuenta varios aspectos para la elección de los materiales a proponer en el proyecto.

Para el desarrollo de la propuesta arquitectónica del G5 de la EICO, la selección de materiales se basa en cuatro criterios principales:

- Impacto ambiental y ciclo de vida
- Disponibilidad local del recurso
- Funcionalidad y desempeño técnico
- Durabilidad y vida útil

- **Impacto ambiental**

La evaluación ambiental de los materiales se apoya en el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y en la consulta de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) cuando estas existen.

Geoinnova (2024) añade que la DAP ofrece información verificable sobre el impacto ambiental de un producto, material o servicio, elaborada conforme a la norma ISO 14025 y frecuentemente alineada con la UNE-EN 15804 para productos de construcción. Esto resulta relevante para un edificio universitario que aspira a ser un referente en sostenibilidad, pues permite:

- ✓ Identificar materiales con menor huella de carbono incorporado
- ✓ Favorecer productos con contenido reciclado o reciclable
- ✓ Integrar criterios de economía circular en la selección de acabados y sistemas de fachada.

- **Disponibilidad del recurso**

La selección de materiales también se fundamenta en su disponibilidad en Costa Rica y, en lo posible, en el área de influencia del campus de Cartago y la GAM. Este criterio busca:

- ✓ Reducir las distancias de transporte
- ✓ Favorecer la logística constructiva en un campus en funcionamiento

- ✓ Asegurar la posibilidad futura de mantenimiento y ampliaciones

Materiales como el concreto premezclado, el acero estructural, la carpintería de aluminio, los sistemas de gypsum y la madera para acabados cuentan con una cadena de suministro consolidada en el país, lo que facilita su integración en la obra y su posterior mantenimiento.

- **Funcionalidad**

Cada material se evalúa en relación con su rol dentro del edificio (estructura, envolvente, particiones, acabados) y con las exigencias del contexto climático de Cartago:

- ✓ Alta exposición a vientos fríos
- ✓ Temperaturas moderadas-bajas
- ✓ Necesidad de control de infiltraciones y protección frente a lluvia y neblina
- ✓ Requerimientos de confort acústico en aulas y laboratorios.

En este sentido, la combinación de materiales de alta inercia térmica (concreto, mampostería) con sistemas ligeros y aislados (gypsum, fachadas ventiladas, cielos falsos ventilados) permite modelar adecuadamente el comportamiento higrotérmico interior.

- **Durabilidad / Vida útil**

Un edificio universitario de uso intensivo requiere materiales con alta durabilidad, bajo mantenimiento y capacidad de conservar sus prestaciones a lo largo de décadas. La prolongación de la vida útil es, además, una estrategia de sostenibilidad, ya que reduce la necesidad de sustitución frecuente y, por tanto, el impacto ambiental asociado al ciclo de vida.

En coherencia con estos criterios, se plantean los siguientes materiales principales:

3.3.1. Concreto estructural

Este material se destinaría a la construcción de cimientos y losas de entrepiso de 5 a 10cm de espesor.

Su elección se justifica por:

- Su resistencia a compresión y buen comportamiento sísmico en combinación con acero de refuerzo
- La durabilidad frente a la humedad y las condiciones en contacto directo con el suelo.
- La alta disponibilidad de concreto premezclado cercano

Desde la óptica bioclimática, el concreto aporta inercia térmica, lo que permite amortiguar oscilaciones de temperatura y almacenar ganancias solares moderadas durante el día para liberarlas progresivamente. Bastaría recordar que en la arquitectura

bioclimática la envolvente se concibe como un “conjunto de elementos arquitectónicos, constructivos y pasivos, capaces de transformar las condiciones del microclima” (p.14) y el concreto puede desempeñar este papel de masa térmica en zonas estratégicas del edificio.

“El diseño bioclimático debe aprovechar materiales con masa térmica como parte de la envolvente y estructura, para favorecer el confort térmico pasivo y reducir consumo energético.” San Juan, 2013)

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 10. Posibles proveedores de concreto estructural

Proveedor	Ubicación	Página web
Holcim	Dulce Nombre, Cartago	https://www.holcim.cr/
CEMPRO	La Lima, Cartago	https://www.cempro.co.cr/
Concretera Nacional	Ochomogo, Cartago	https://construccion.co.cr/directorio/concretera-nacional/
Grupo Orosi	La Lima, Cartago	https://orosicr.com/

3.3.2. Acero estructural

El acero estructural se empleará en el sistema de marcos rígidos que conforman la estructura principal del edificio. Este material permite:

- Grandes luces con secciones relativamente reducidas,
- Montaje en seco y rapidez constructiva,
- Posibilidades de ampliación y refuerzo posterior con mínima intervención en el uso del edificio.

Los sistemas metálicos, gracias a su ductilidad y reciclabilidad, son especialmente adecuados para zonas sísmicas, donde además su menor peso reduce la demanda sobre la cimentación, y permite un montaje modular eficiente con menor desperdicio. (Rincón y Ortiz, 2023)

Dado el clima húmedo de Cartago, el proyecto deberá contemplar:

- Sistemas de protección anticorrosiva (pinturas, galvanizado, recubrimientos),
- Detalles constructivos que eviten acumulación de agua,
- Coordinación con cierres y fachadas para minimizar exposición directa.

En términos de sostenibilidad, Semanate et al (2024) señalan que las estructuras de acero galvanizado ofrecen una huella de residuo espectacularmente baja: se ha documentado que pueden generar menos del 1 % de desperdicio de material durante su montaje, y además permiten desmontaje y reutilización total o parcial de componentes, favoreciendo la sostenibilidad del edificio, lo cual se alinea con los lineamientos institucionales de economía circular y reducción de residuos constructivos.

Asimismo, respecto a los beneficios comparativos frente a otros sistemas, Vilaes (2025) indica que comparados con sistemas tradicionales de mampostería u hormigón, los sistemas metálicos reducen significativamente la carga sobre cimentaciones, disminuyen la necesidad de demolición y permiten procesos de construcción más limpios y rápidos.

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 11. Posibles proveedores de acero estructural

Proveedor	Ubicación	Página web
Ferromax	Ochomogo, Cartago	https://grupoferromax.com/cr/
Aceros Cartago	San Rafael, Cartago	https://www.aceroscartago.com/
EPA	La Lima, Cartago	https://cr.epaenlinea.com/
Intersteel	La Lima, Cartago	https://intersteel.cr/

3.3.3. Aluminio

El aluminio se utilizará principalmente en ventanas, marcos de puertas y posibles elementos de fachada ligera (marcos de celosías, parasoles).

Aluminios Valle (2025) destaca su resistencia a la corrosión, ligereza, facilidad de manipulación, bajo mantenimiento,

posibilidad de acabados diversos y su contribución a la eficiencia energética en edificaciones.

Sus ventajas incluyen:

- Buena durabilidad frente a la intemperie.
- Bajo mantenimiento.
- Posibilidad de integrar sistemas de apertura controlada para ventilación natural.

No obstante, el aluminio presenta una alta conductividad térmica, por lo que se priorizarán:

- Doble acristalamiento adecuado al clima de Cartago.
- Integración con estrategias de sombreado (aleros, lamas, fachadas ventiladas).

Estas decisiones se alinean con la definición de Universidad Europea (2025) de arquitectura bioclimática como aquella que tiene en cuenta las condiciones climáticas locales para la optimización de recursos naturales, integrando el diseño de las ventanas en la estrategia pasiva global.

INDI (s.f.) menciona que el aluminio pesa tres veces menos que el acero. Su ligereza permite crear estructuras más fáciles de transportar y ensamblar, reduciendo tiempos de obra y costes logísticos. Esto lo hace especialmente útil en proyectos de arquitectura modular o prefabricada.

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 12. Posibles proveedores de aluminio

Proveedor	Ubicación	Página web
Aceros Cartago	San Rafael, Cartago	https://www.aceroscartago.com/
Extralum	Tejar, Cartago	https://www.extralum.com/
EPA	La Lima, Cartago	https://cr.epaenlinea.com/
Intersteel	La Lima, Cartago	https://intersteel.cr/

3.3.4. Sistemas de paredes

Para el proyecto se consideran tres tipologías principales de cerramientos y divisiones interiores: paredes livianas, muros de mampostería y muros de concreto. Cada una presenta características específicas que permiten responder adecuadamente a las necesidades académicas, funcionales y estructurales de la EICO.

Paredes livianas

Su adopción se fundamenta en su ligereza, flexibilidad y capacidad de adaptación al cambio programático.

Ventajas

- Construcción en seco, lo que reduce tiempos de obra, humedad y generación de residuos.
- Rapidez de montaje y facilidad para ejecutar instalaciones eléctricas y de datos.

- Flexibilidad y posibilidad de reconfiguración, ideal para un edificio académico con necesidades evolutivas.
- Pueden alcanzar alto desempeño acústico mediante el uso de doble placa y aislamiento mineral interno.
- Aligeran la carga sobre la estructura existente.

Desventajas

- Menor durabilidad frente a impactos fuertes comparado con muros masivos.
- Sensibilidad a la humedad si no se emplean placas resistentes.
- No aportan masa térmica, por lo que su contribución al confort pasivo es limitada.
- Requieren un adecuado control de juntas para evitar fisuras o vibración.

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 13. Posibles proveedores de paredes livianas

Proveedor	Ubicación	Página web/Correo
Plycem	Paraíso, Cartago	https://plycem.com/
Colono	Cartago, Cartago	https://www.colonoconstruccion.com/
EPA	La Lima, Cartago	https://cr.epaenlinea.com/
Tecni-Gypsum	San Francisco de Dos Ríos, Can José	https://tecnigypsum.com/

Mampostería

Se propone para cerramientos perimetrales expuestos a ruido, viento frío y zonas de impacto, así como para muros interiores donde se requiera mayor robustez.

Ventajas

- Alta masa térmica, lo que permite estabilizar temperaturas interiores.
- Aislamiento acústico, especialmente útil en aulas, laboratorios.
- Gran durabilidad y resistencia al impacto, adecuada para zonas de alto tránsito.
- Baja necesidad de mantenimiento.

Desventajas

- Mayor tiempo de construcción respecto a sistemas en seco.
- Mayor generación de residuos y procesos húmedos.
- Pesada, incrementa cargas sobre la estructura existente.
- Dificultad para reconfiguración futura: su modificación es costosa y lenta.

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 14. Posibles proveedores de mampostería

Proveedor	Ubicación	Página web/Correo
Colono	Cartago, Cartago	https://www.colonoconstruccion.com/
EPA	La Lima, Cartago	https://cr.epaenlinea.com/
Concretera Nacional	Ochomogo, Cartago	https://construccion.co.cr/directorio/concretera-nacional/
Velca	Cartago, Cartago	https://grupovelca.cr/

Muros de concreto

Se destinarán principalmente a zonas donde se requieren altas exigencias estructurales: núcleos de circulación, cuartos de máquinas, zonas de instalaciones verticales y muros técnicos.

Ventajas

- Máxima resistencia estructural, adecuados para sostener cargas y rigidizar el edificio.
- Aportan mayor inercia térmica.
- Muy alta durabilidad frente a humedad, viento y desgaste.
- Buena capacidad de aislamiento acústico.
- Funcionan como elementos de seguridad y resistencia al fuego.

Desventajas

- Pesada, incrementa cargas sobre la estructura existente.
- Procesos húmedos y construcción lenta.
- Costo mayor comparado con sistemas livianos.
- Poca flexibilidad futura: una vez construido, modificarlo es complejo y costoso.
- Requiere equipos especializados y una planificación de obra más estricta.

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 15. Posibles proveedores de concreto

Proveedor	Ubicación	Página web
Holcim	Dulce Nombre, Cartago	https://www.holcim.cr/
CEMPRO	La Lima, Cartago	https://www.cempro.co.cr/
Concretera Nacional	Ochomogo, Cartago	https://construccion.co.cr/directorio/concretera-nacional/
Grupo Orosi	La Lima, Cartago	https://orosicr.com/

3.3.5.Madera

La madera se plantea para cielos rasos, revestimientos interiores puntuales (mobiliario fijo, enchapes en zonas de permanencia) y en elementos de confort visual.

Su elección obedece a:

- Bajo impacto ambiental relativo frente a otros acabados (siempre que provenga de fuentes certificadas)
- Capacidad de mejorar la calidez espacial y la percepción de confort
- Buen desempeño acústico en combinación con aislantes.

En la línea de una arquitectura sensible al usuario, proyectos educativos con acabados en madera contribuyen a generar ambientes de aprendizaje más acogedores, favoreciendo el bienestar de estudiantes, docentes y personal administrativo.

Arquitectura Sostenible (2023) explica que la madera tiene menor impacto ambiental que materiales como hormigón o acero, se puede reutilizar, reciclar o compostar, y contribuye al confort higrotérmico, regulación de humedad y confort interior.

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 16. Posibles proveedores de madera

Proveedor	Ubicación	Página web/Correo
Mercado forestal	El Guarco, Cartago	https://mercadoforestal.cr/
Maderas Turrialba	Caballo Blanco, Cartago	https://www.maderasturrialba.com/
Maderas cultivadas	La Lima, Cartago	https://maderascultivadas.com/
El Laurel	Los Ángeles, Cartago	https://www.grupolaurel.com/Maderas/

3.3.6.Láminas PVC

Las láminas de PVC se consideran para el uso en cielos rasos y zonas donde se requiera facilidad de limpieza y resistencia a la humedad

Sus ventajas son:

- Resistencia a la humedad
- Fácil mantenimiento y limpieza
- Montaje ligero
- Su durabilidad

No obstante, debido a las implicaciones ambientales del PVC, su uso se limitará a áreas donde sus prestaciones sean estrictamente necesarias, priorizando alternativas de menor impacto (madera). Esta priorización responde a la lógica de que la arquitectura bioclimática y sostenible debe cuestionar no solo el consumo energético, sino también la reciclabilidad de los materiales empleados.

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 17. Posibles proveedores de láminas PVC

Proveedor	Ubicación	Página web/Correo
EcoPlax	Tres Ríos, Cartago	https://www.ecoplaxcr.com/
Mercasa	Cartago, Cartago	https://www.grupomercasa.com/
Colono	Cartago, Cartago	https://www.colonoconstruccion.com/

El Pochote	Cartago, Cartago	https://www.elpochote.com/
------------	---------------------	---

3.3.7. Vidrio

El vidrio será utilizado en ventanas y fachadas ligeras con el objetivo de maximizar la captación de luz natural, mejorar el confort visual y reducir la dependencia de iluminación artificial.

Su elección se justifica por:

- Su capacidad para incorporar iluminación natural homogénea, reduciendo cargas por iluminación artificial.
- Su contribución al confort térmico, especialmente cuando se emplean vidrios de alto desempeño.
- Su versatilidad en la conformación de fachadas bioclimáticas.
- Su reciclabilidad total.

Los recubrimientos especiales, como los de baja emisividad, reducen la pérdida o ganancia térmica a través del vidrio, mejorando su capacidad aislante. Asimismo, la utilización de doble acristalamiento aporta un nivel adicional de aislamiento, reduciendo infiltraciones de aire frío y fortaleciendo la envolvente térmica del edificio.

En relación con la sostenibilidad, Babitharani et al (2019) resaltan que el vidrio es un material totalmente reciclable sin degradación

de sus propiedades, lo cual lo convierte en una opción coherente con los lineamientos ambientales del TEC y con el enfoque de economía circular aplicado en el proyecto.

Proveedores de este material en Costa Rica, cercano al ITCR.

Cuadro 18. Posibles proveedores de vidrio

Proveedor	Ubicación	Página web/Correo
Vidrios Brenes	Tejar, Cartago	https://vidrios-brenes.odoo.com/
Extralum	Tejar, Cartago	https://www.extralum.com/
Vidrios Fonseca	San Rafael, Cartago	vidriosfonsecafacturas@hotmail.com
Vidrios Andrés	Cartago	https://vidrios-andres.webnode.cr/

Con el fin de sintetizar el proceso de análisis y toma de decisiones desarrollado en el presente apartado, se elabora el siguiente cuadro comparativo de materiales propuestos para el proyecto.

Este cuadro permite visualizar de manera estructurada la relación entre cada material, su sistema de aplicación dentro del edificio y los criterios evaluados previamente: impacto ambiental, disponibilidad local, funcionalidad técnico-constructiva y durabilidad.

Asimismo, se demuestra que la selección material no responde únicamente a aspectos estructurales o estéticos, sino a una estrategia integral orientada a garantizar confort, eficiencia y adaptabilidad futura en un edificio universitario de uso intensivo.

Cuadro 19. Selección y justificación de la elección de materiales a utilizar en el proyecto

Material	Sistema / Uso principal	Ventajas relevantes	Selección y justificación
Concreto estructural	Cimentaciones y losas de entrepiso	Alta resistencia a compresión, buena respuesta sísmica, alta durabilidad frente a humedad, elevada inercia térmica	Se selecciona por su desempeño estructural y disponibilidad local . Su uso se limita a elementos estructurales estratégicos para optimizar su impacto ambiental.
Acero estructural	Marcos rígidos de la estructura principal	Alta ductilidad sísmica, montaje en seco, rapidez constructiva, reciclabilidad casi total, bajo desperdicio	Se selecciona por su eficiencia estructural, menor peso propio de la estructura global, adaptabilidad futura y coherencia con principios de economía circular y construcción industrializada.
Aluminio	Ventanas, marcos, parasoles y elementos de fachada ligera	Resistente a corrosión, ligero, bajo mantenimiento, versátil en diseño	Se selecciona condicionado al uso de sombreado pasivo, integrándolo como parte activa de la estrategia bioclimática del edificio.
Paredes livianas	Divisiones interiores y exteriores	Construcción en seco, facilidad constructiva y de montaje, facilidad de reconfiguración, menor carga estructural	Se seleccionan para espacios académicos flexibles, permitiendo adaptaciones futuras del programa sin afectar la estructura principal.
Madera certificada	Cielos rasos y acabados interiores puntuales	Bajo impacto ambiental, mejora confort térmico y acústico, calidez espacial.	Se selecciona como acabado interior por su aporte al bienestar de los usuarios y su coherencia con una arquitectura educativa sostenible y menor impacto ambiental.
Láminas de PVC	Cielos rasos en zonas húmedas, exteriores o de servicio	Resistente a humedad, fácil limpieza, bajo mantenimiento	Se selecciona de forma restringida, solo en áreas externas y por protección de instalaciones o equipos.
Vidrio	Ventanas y fachadas ligeras	Máxima captación de luz natural, reciclabilidad total, mejora del confort visual	Se selecciona como elemento clave de la estrategia pasiva, combinado con control solar y sombreados.

3.4. Diagramas de estrategias pasivas y activas aplicables en el proyecto

Las estrategias pasivas y activas para el G5 se conceptualizan mediante una serie de diagramas de funcionamiento que articulan clima, forma arquitectónica, sistema constructivo y uso del edificio.

Estos diagramas no solo constituyen representaciones gráficas, sino que funcionan como herramientas de síntesis para orientar el diseño desde una perspectiva bioclimática, permitiendo visualizar cómo las decisiones arquitectónicas influyen directamente en el confort térmico, la iluminación natural y el consumo energético del edificio.

Para la elaboración de los diagramas se utiliza la herramienta Climate Consultant, un software especializado que permite interpretar datos climáticos y traducirlos en estrategias de diseño aplicables a edificios. Según Climate Consultant (s.f.) esta herramienta representa gráficamente una gran cantidad de variables climáticas como temperatura, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento, necesidades de protección solar y estrategias de ventilación.

El archivo EPW que se utiliza es el brindado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para la zona más cercana al

Tecnológico de Costa Rica en Cartago, lo cual permite realizar un análisis climático representativo del sitio de intervención.

Con base a este análisis se exportan las siguientes estrategias pasivas y activas del programa, junto con otras estrategias de investigación propia.

3.4.1. Estrategias pasivas

Estas estrategias se aplican al diseño arquitectónico con el fin de aprovechar al máximo lo que nos ofrece el entorno, y de ese modo reducir nuestra dependencia de las instalaciones para alcanzar el confort deseado. (Huellas de Arquitectura, 2018)

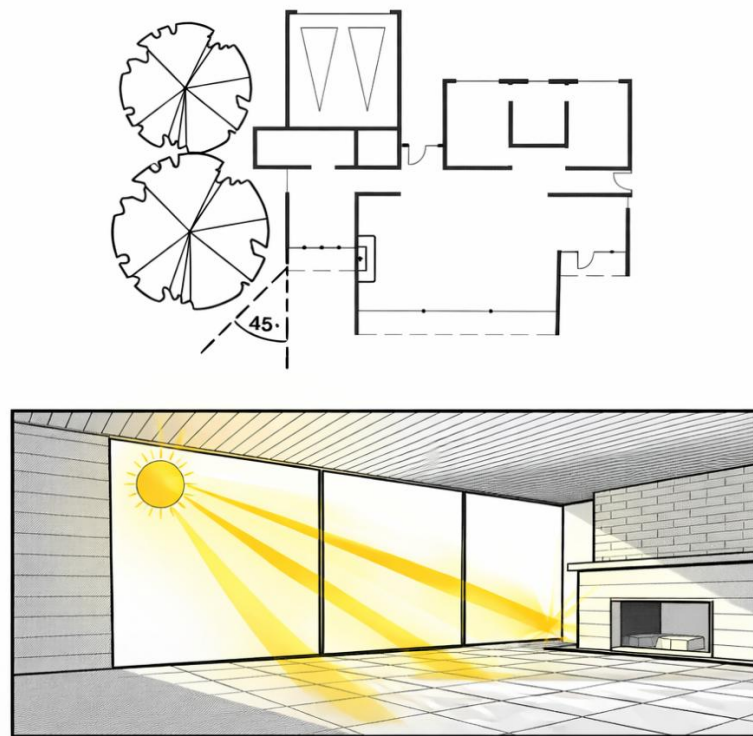
A partir del análisis climático realizado, se identifican las siguientes estrategias pasivas aplicables al proyecto:

- **Organización espacial según la orientación solar**

Una de las estrategias bioclimáticas más importantes consiste en organizar los espacios interiores en función de su relación con la radiación solar.

Los espacios en edificios educativos presentan uso intensivo durante el día, por lo que resulta fundamental aprovechar la iluminación natural de forma controlada para mejorar el confort visual y reducir el uso de iluminación artificial.

Figura 48. Organizar espacios de uso diurno con funciones específicas que coincidan con la orientación solar.



Nota: Se exporta de la herramienta Climate Consultant, con ajustes de elaboración propia.

En este proyecto se propone ubicar:

- Aulas y espacios académicos en orientaciones que favorezcan la iluminación natural sin generar sobrecalentamiento

- Espacios de servicio, bodegas y áreas de apoyo en orientaciones menos favorables.

Esta estrategia permite optimizar la relación entre el recorrido solar y el funcionamiento del edificio, reduciendo la demanda energética asociada a iluminación artificial y sistemas de climatización.

Además, una correcta organización espacial favorece el aprovechamiento de la luz difusa del norte y del este, que resulta más adecuada para actividades académicas debido a su menor intensidad térmica.

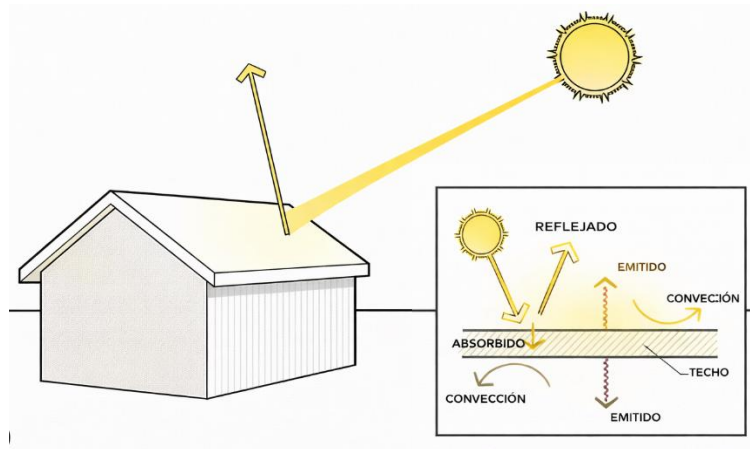
- **Uso de materiales reflectivos y cubiertas de alta emisividad**

La selección de materiales para fachadas y cubiertas tiene una influencia significativa en el comportamiento térmico del edificio. El uso de materiales claros o con alta reflectancia solar permite reducir la absorción de radiación solar en las superficies exteriores, disminuyendo la cantidad de calor que se transmite hacia el interior del edificio.

En climas templados y húmedos como el de Cartago, esta estrategia contribuye a:

- Mantener temperaturas interiores más estables
- Reducir el efecto de sobrecalentamiento en cubiertas
- Disminuir la carga térmica en los espacios interiores.

Figura 49. Uso de materiales claros y techos con alta emisividad para minimizar la ganancia de calor conducida hacia el interior del edificio.



Nota: Se exporta de la herramienta Climate Consultant, con ajustes de elaboración propia.

Para el proyecto se propone el uso de:

- Cubiertas con acabados de alta reflectancia solar
- Materiales con alta emisividad térmica, que faciliten la disipación del calor acumulado

- Sistemas constructivos que incorporen capas de aislamiento térmico y/o ventilación en cubierta.

Estas soluciones contribuyen a mejorar el desempeño térmico del edificio sin aumentar significativamente el costo constructivo.

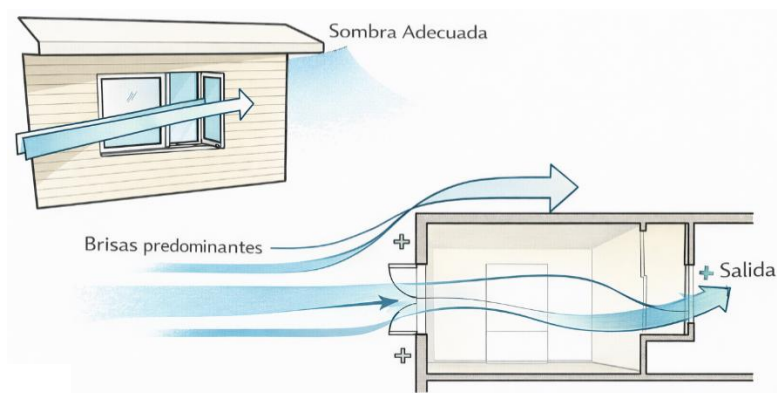
- **Promover la ventilación natural**

El análisis climático muestra que la dirección del viento predominante puede aprovecharse para favorecer la ventilación natural del edificio.

En este sentido, el diseño arquitectónico debe considerar:

- La ubicación estratégica de ventanas operables
- El uso de elementos como celosías o aperturas superiores
- La orientación de los espacios hacia los vientos dominantes.

Figura 50. Promover la ventilación natural



Nota: Se exporta de la herramienta Climate Consultant, con ajustes de elaboración propia.

Esta estrategia permite generar corrientes de aire que contribuyen a la disipación del calor interior, especialmente en espacios con alta ocupación como aulas o salas de reunión.

Además, el aprovechamiento del viento natural permite mejorar el confort térmico sin recurrir a sistemas mecánicos de climatización.

- **Ventilación cruzada natural**

Este mecanismo se basa en la circulación natural del aire a través del edificio, generada por la diferencia de presión entre fachadas opuestas.

Para que la ventilación cruzada funcione adecuadamente, es necesario que el diseño arquitectónico incluya:

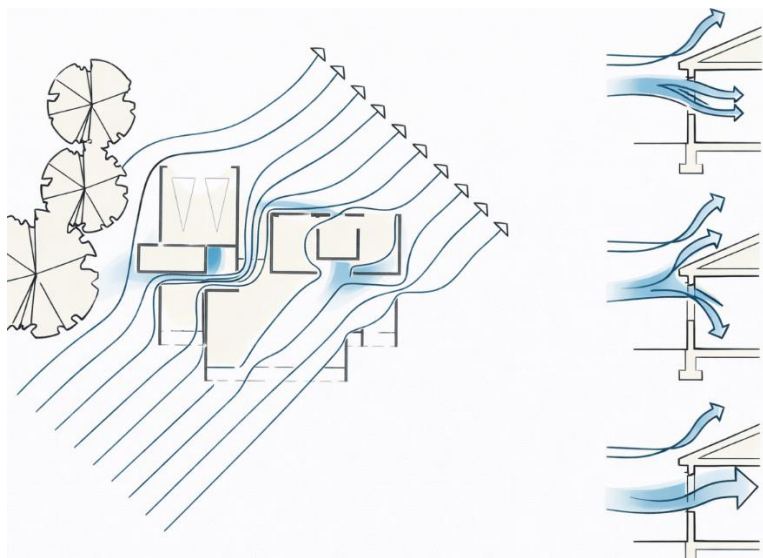
- Aberturas en fachadas opuestas
- Espacios interiores que permitan la circulación del aire (pasillos amplios)
- Una adecuada proporción entre áreas de entrada y salida de aire.

En el caso del edificio del G5, la implementación de ventilación cruzada permite:

- Reducir la acumulación de calor en las aulas
- Mejorar la renovación del aire interior
- Disminuir la dependencia de sistemas de ventilación mecánica.

Además, esta estrategia contribuye a mejorar la calidad del aire interior, lo cual resulta fundamental en espacios educativos con alta densidad de ocupación.

Figura 51. Facilitar la ventilación cruzada



Nota: Se exporta de la herramienta Climate Consultant, con ajustes de elaboración propia.

- **Control solar en las fachadas del edificio**

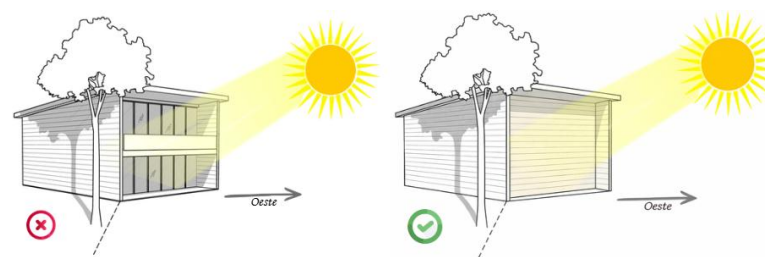
La radiación solar proveniente del oeste suele ser una de las principales fuentes de sobrecalentamiento en edificios ubicados en latitudes tropicales.

Durante la tarde, el sol incide con un ángulo bajo sobre las fachadas oeste, lo que dificulta su control mediante elementos horizontales de sombra.

Por esta razón se recomienda:

- Reducir la cantidad de ventanas en esta orientación
- Incorporar paravanes verticales
- Utilizar elementos arquitectónicos que actúen como filtros solares.

Figura 52. Reducir o eliminar el uso de ventanas orientadas hacia el oeste



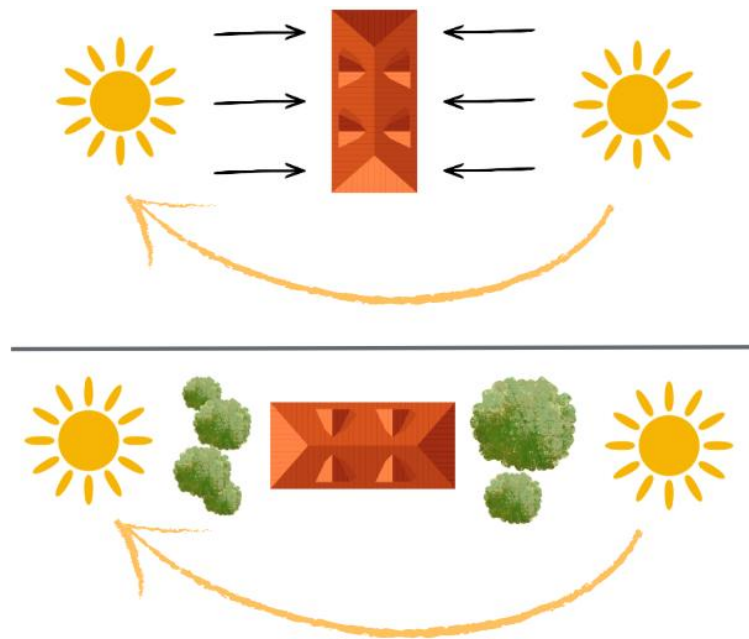
Nota: Se exporta de la herramienta Climate Consultant, con ajustes de elaboración propia.

En el proyecto G5 esta estrategia se ve favorecida por la geometría del edificio existente, que presenta fachadas más cortas hacia el este y oeste, lo cual reduce la superficie expuesta a la radiación solar directa.

- **Orientación del edificio**

La orientación del edificio es uno de los factores más determinantes en el desempeño energético de la arquitectura, ya que esta permite maximizar la iluminación natural, controlar la radiación solar directa y mejorar las condiciones de ventilación natural.

Figura 53. Orientación del edificio



Nota: Elaboración propia.

En el caso del G5, la configuración actual del edificio resulta favorable desde el punto de vista bioclimático, ya que las fachadas más largas se orientan hacia el norte y el sur, lo que permite un mejor control de la radiación solar mediante elementos de sombra. Además, esta orientación facilita el aprovechamiento de la iluminación natural uniforme, especialmente en espacios de uso académico, donde las condiciones de luz natural influyen directamente en el confort visual y en la reducción del consumo energético asociado a la iluminación artificial.

En este caso, esta configuración también contribuye positivamente al diseño arquitectónico de la propuesta, ya que permite mantener una continuidad geométrica con el edificio existente, facilitando la integración del nuevo volumen con la estructura actual. Esta continuidad favorece un desarrollo arquitectónico coherente y permite aprovechar de manera eficiente los recursos naturales disponibles, particularmente la ventilación natural y la iluminación natural, integrando las estrategias bioclimáticas dentro de la forma y organización espacial del edificio.

De esta manera, la propuesta no solo responde a criterios funcionales y constructivos, sino que también fortalece el desempeño ambiental del conjunto arquitectónico.

- **Implementación de paredes verdes**

Las paredes verdes o muros vegetales constituyen una estrategia arquitectónica que integra vegetación en superficies verticales del edificio con el objetivo de mejorar el desempeño ambiental de la edificación y contribuir al confort térmico interior.

En edificaciones educativas, las paredes verdes cumplen además una función didáctica y paisajística, ya que permiten evidenciar la integración entre arquitectura, sostenibilidad y naturaleza dentro del campus universitario.

En el caso del edificio del G5, la implementación de paredes verdes permite:

- Reducir la ganancia térmica en las fachadas
- Mejora del microclima inmediato del edificio
- Mejora de la calidad del aire
- Beneficios acústicos, ya que la vegetación y el sustrato ayudan a absorber parte del ruido ambiental
- Enriquecer la imagen del edificio y reforzar el concepto de sostenibilidad

Figura 54. Orientación del edificio



Nota: Elaboración propia y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Un ejemplo que demuestra la viabilidad de la implementación de paredes verdes en el contexto climático de Costa Rica es el proyecto Gardenia, ubicado en el sector de Nunciatura en San José y diseñado por Studio Saxe.

Este caso demuestra que la implementación de vegetación en fachadas es una estrategia viable y aplicable a proyectos arquitectónicos en el contexto climático del Valle Central de Costa Rica.

Figura 55. Pared verde edificio Gardenia en Nunciatura, San José.



Nota: Se obtiene de Studio Saxe (s.f.)

3.4.2. Estrategias activas

Las estrategias activas corresponden a sistemas tecnológicos que requieren equipamiento e instalaciones mecánicas o eléctricas, pero que permiten mejorar significativamente la eficiencia energética y la sostenibilidad del edificio. Para el diseño de la ampliación y remodelación del G5 se propone lo siguiente:

- **Captación de agua pluvial**

La captación de agua pluvial constituye una estrategia clave dentro del enfoque de gestión sostenible del recurso hídrico en edificaciones.

En un edificio universitario, el consumo de agua puede ser considerable debido a la presencia de:

- Servicios sanitarios
- Limpieza de instalaciones
- Riego de áreas verdes.

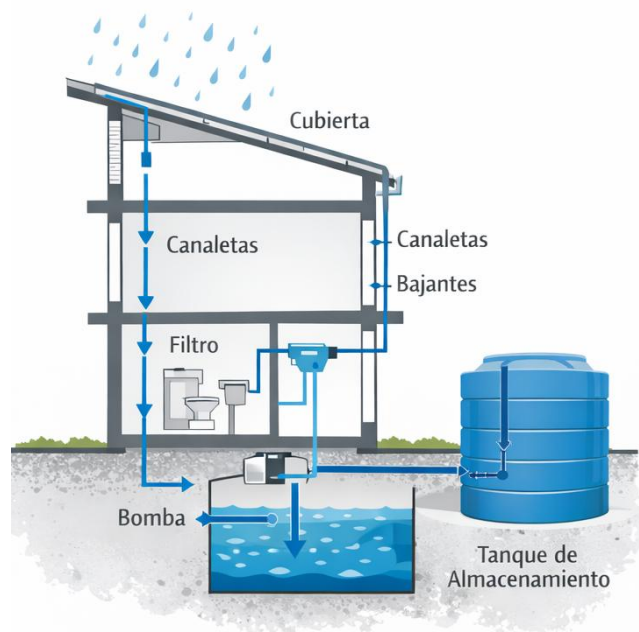
La implementación de sistemas de captación de agua pluvial permite aprovechar la precipitación para usos no potables, reduciendo la demanda de agua potable proveniente de la red pública.

Dado que la provincia de Cartago presenta altos niveles de precipitación anual, esta estrategia resulta especialmente viable y eficiente.

El sistema puede utilizar la cubierta del edificio como superficie de captación, conduciendo el agua hacia tanques de almacenamiento mediante canaletas y bajantes.

Además de sus beneficios ambientales, estos sistemas también cumplen una función educativa, ya que permiten demostrar de forma práctica el funcionamiento de soluciones sostenibles dentro del campus universitario.

Figura 56. Sistema de recolección de agua pluvial



Nota: Imágenes de google

- **Paneles fotovoltaicos**

Este sistema permite transformar la radiación solar en electricidad, reduciendo el consumo energético proveniente de fuentes convencionales.

En el proyecto de ampliación del G5 se propone la instalación de paneles solares en la cubierta del edificio, aprovechando la disponibilidad de superficie y las condiciones favorables de radiación solar.

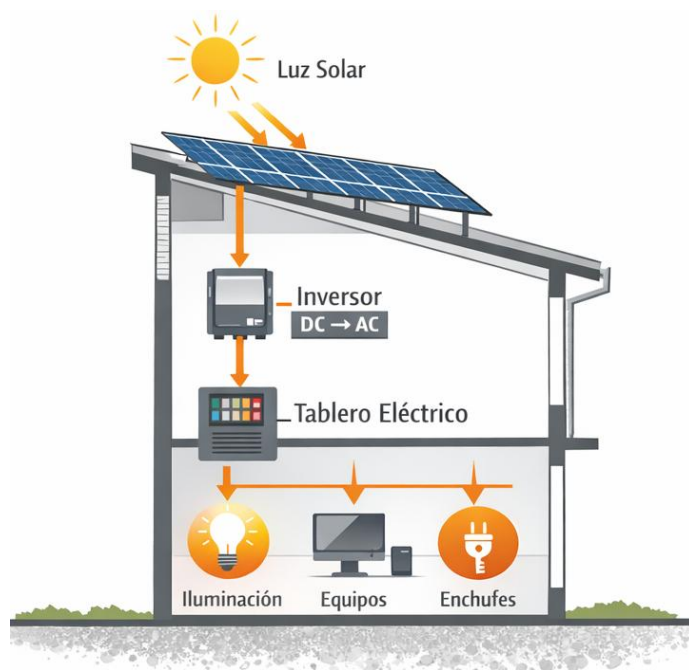
Se recomienda una cubierta con inclinación mínima del 15 %, preferiblemente a dos aguas, lo cual permite optimizar la captación de radiación solar y facilitar el escurrimiento del agua de lluvia para su captación.

Además, el entorno inmediato del edificio presenta baja presencia de obstáculos que generen sombra, ya que los edificios cercanos poseen únicamente uno o dos niveles.

Entre los principales beneficios del sistema fotovoltaico se encuentran:

- Reducción del consumo energético del edificio que se traduce a una menor dependencia de la red.
- Uso eficiente de espacios (techos)
- Disminución de emisiones de carbono
- Reducción de costos operativos a largo plazo.

Figura 57. Uso de paneles fotovoltaicos



Nota: Imágenes de google

3.5. Esquemas preliminares de distribución funcional y circulaciones proyectadas.

El desarrollo de los esquemas preliminares de distribución funcional y de circulaciones constituye una etapa fundamental dentro del proceso de diseño arquitectónico, ya que permite establecer la organización espacial del edificio en relación con las

necesidades programáticas, los criterios de funcionamiento institucional y las condiciones climáticas del sitio.

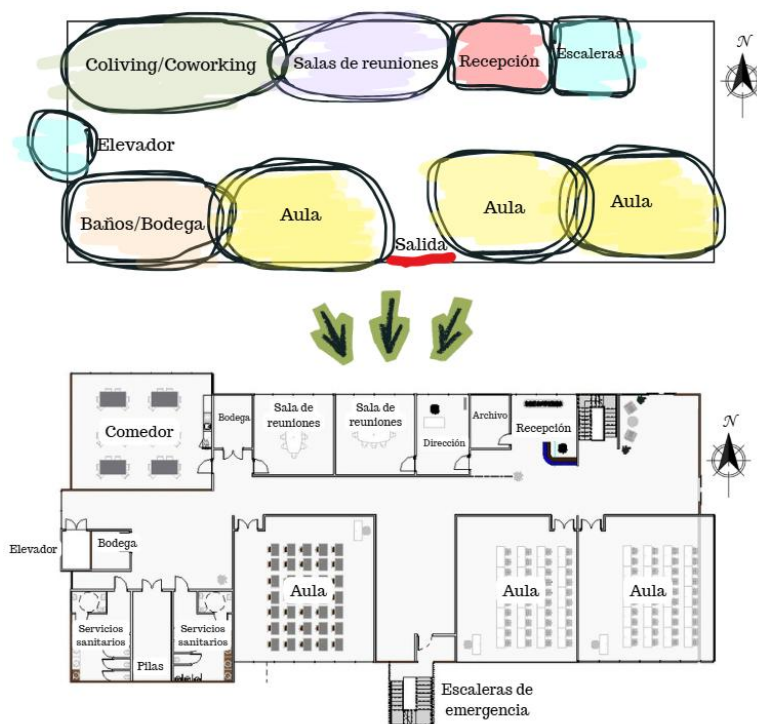
En el caso del proyecto de ampliación y remodelación del edificio G5 para la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO), estos esquemas se plantean como una herramienta de síntesis entre el análisis climático previamente desarrollado, las estrategias bioclimáticas adoptadas y los requerimientos funcionales propios de un edificio de educación superior.

En las siguientes secciones se presentan los esquemas preliminares correspondientes al segundo y tercer nivel del edificio, donde se detallan las estrategias de circulación proyectadas y la organización funcional de los distintos espacios que conforman la propuesta arquitectónica. Estos esquemas permiten visualizar de manera integral la lógica de funcionamiento del edificio y evidencian cómo la distribución espacial contribuye al desempeño ambiental, la eficiencia operativa y la calidad del ambiente construido.

3.5.1. Propuesta de diseño para el Segundo Nivel

La propuesta de diseño para el segundo nivel del edificio se desarrolla a partir de la articulación entre criterios funcionales, condiciones climáticas del sitio.

Figura 58. Propuesta integral de distribución funcional y circulaciones proyectadas para el Segundo Nivel

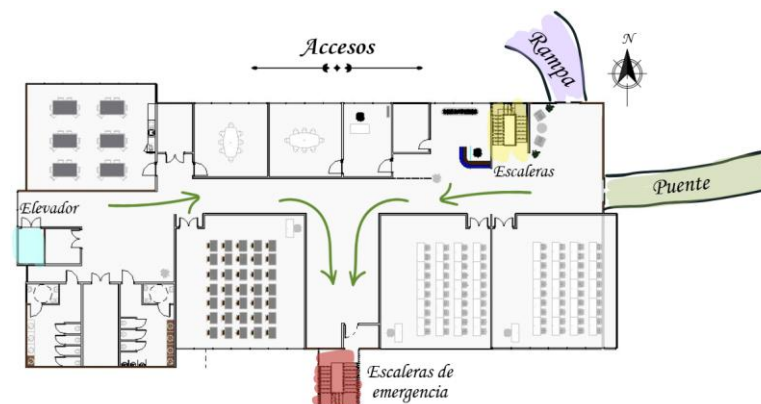


Nota: Elaboración propia

Circulaciones proyectadas

En la siguiente figura se detalla la propuesta planteada en una vista en planta del segundo nivel con sus accesos correspondientes.

Figura 59. Propuesta integral de circulaciones proyectadas para el Segundo Nivel.



Nota: Elaboración propia

La propuesta contempla un ascensor ubicado en el costado oeste del edificio, un acceso desde el parqueo existente en el lado norte, hacia el este un puente que conecta la nueva Escuela de Ingeniería en Construcción con el CIVCO, y un núcleo de escaleras continuo que articula los niveles 1, 2 y 3 del edificio.

Asimismo, se incorporan escaleras de emergencia en el costado sur, las cuales permiten la evacuación hacia el punto de reunión definido en este sector, garantizando una circulación segura y funcional dentro del proyecto.

- **Rampa de acceso desde el lado norte**

La rampa ubicada en el costado norte del edificio permite una conexión directa y accesible desde el área de parqueo hacia el segundo nivel, garantizando el cumplimiento de los principios de accesibilidad universal. Este acceso facilita el ingreso autónomo de personas con movilidad reducida y el ingreso de equipos, sin depender de recorridos internos complejos. Además, su ubicación perimetral reduce interferencias con los flujos principales del edificio y ordena el ingreso desde el exterior de forma clara y legible.

- **Puente de conexión con el CIVCO**

El puente establece una conexión funcional y directa entre el segundo nivel del edificio y el CIVCO, fortaleciendo la integración académica y operativa entre ambas edificaciones. Esta conexión elevada permite un desplazamiento seguro y protegido de las condiciones climáticas, optimizando los tiempos de recorrido y favoreciendo la interacción entre unidades académicas afines, sin necesidad de descender a niveles inferiores o salir del edificio.

- **Elevador como elemento de conexión longitudinal**

El elevador se plantea como un elemento estratégico de conexión vertical y horizontal, permitiendo articular los accesos del sector

este con el pasadizo central que conduce hacia el lado oeste del edificio. Su ubicación responde a criterios de equidad espacial, asegurando que todos los usuarios puedan desplazarse eficientemente entre los distintos sectores del segundo nivel reforzando la continuidad funcional del conjunto.

- **Pasadizo central como distribuidor principal**

El pasadizo central del segundo nivel funciona como eje organizador de la circulación, conectando de manera directa las aulas, espacios administrativos y áreas de apoyo. Este eje permite una lectura clara del edificio, minimiza recorridos innecesarios y facilita la orientación del usuario, condición especialmente relevante en un edificio educativo de uso intensivo y alta rotación de personas.

- **Escaleras principales**

Las escaleras principales, permiten una conexión eficiente entre niveles y actúan como punto de convergencia de los flujos provenientes del puente, la rampa y el pasadizo central. Su localización favorece recorridos intuitivos y equilibrados, evitando concentraciones excesivas en un solo punto del edificio.

- **Escaleras de emergencia y seguridad de evacuación**

Las escaleras de emergencia se localizan de forma que todos los espacios del segundo nivel mantengan recorridos cortos, directos y claramente identificables hacia una salida segura. Esta disposición garantiza el cumplimiento de los criterios de evacuación establecidos en la normativa vigente, permitiendo que desde cualquier aula, oficina o área común se acceda rápidamente al núcleo de emergencia, reduciendo tiempos de evacuación y aumentando la seguridad de los usuarios.

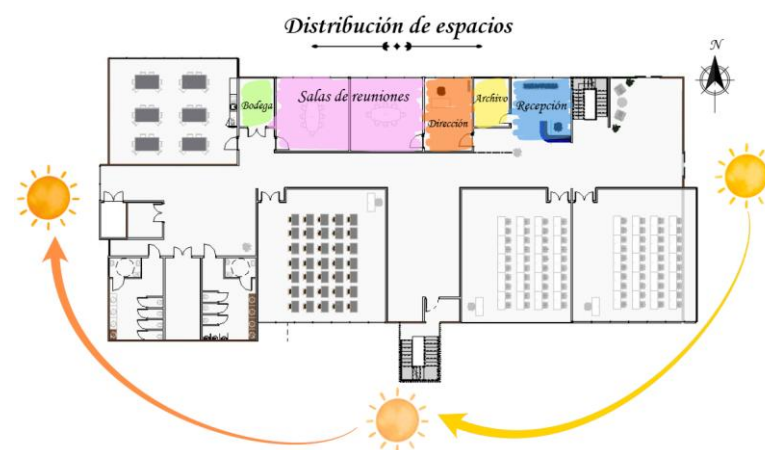
- **Integración funcional del sistema de accesos**

El conjunto de accesos (rampa, puente, elevador, pasadizo central y escaleras) se concibe como un sistema integrado que responde a criterios de accesibilidad, seguridad, eficiencia funcional y legibilidad espacial. Esta integración permite que los diferentes flujos (estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes) se distribuyan de manera ordenada, evitando conflictos de circulación y fortaleciendo el carácter educativo y público del edificio.

Distribución funcional de espacios

En la siguiente figura se detalla la propuesta planteada en una vista en planta del segundo nivel con su distribución funcional de los espacios.

Figura 60. Propuesta integral de distribución de espacios al lado Norte del edificio, para el Segundo Nivel.



Nota: Elaboración propia

La organización al norte de la sala del segundo nivel concentra la bodega, las salas de reuniones, la dirección, el archivo y la recepción en una franja continua. Esta disposición responde a una estrategia integral que articula criterios de funcionamiento institucional con el análisis climático desarrollado para el sitio.

Desde el punto de vista bioclimático, la orientación norte presenta un comportamiento térmico más estable en comparación con las fachadas este y oeste. De acuerdo con el análisis de radiación y recorridos solares, esta orientación recibe incidencia directa únicamente durante ciertos periodos del año, mientras que el resto del tiempo se caracteriza por una radiación predominantemente difusa.

Esta condición reduce significativamente el riesgo de sobrecalentamiento y deslumbramiento, factores especialmente relevantes en espacios administrativos donde la permanencia es prolongada y se requiere concentración visual y confort térmico continuo.

La recepción, ubicada estratégicamente hacia el extremo del conjunto administrativo y próxima al núcleo de circulación vertical (escaleras), funciona como punto de control y orientación institucional. Su posición en el norte permite recibir iluminación natural homogénea sin exposición directa a radiación vespertina intensa, lo que mejora el confort del personal y de los estudiantes. Además, su cercanía a escaleras y circulaciones principales facilita el acceso inmediato desde otros niveles, consolidando una transición clara entre las áreas académicas y el sector administrativo.

La Dirección y las salas de reuniones se localizan contiguas a la recepción, conformando un núcleo administrativo compacto que

optimiza la interacción entre funciones institucionales y reduce recorridos internos. Desde el punto de vista ambiental, su orientación norte favorece iluminación natural controlada, minimizando contrastes lumínicos y evitando ganancias térmicas excesivas que podrían afectar el confort en reuniones prolongadas o el uso de equipos electrónicos.

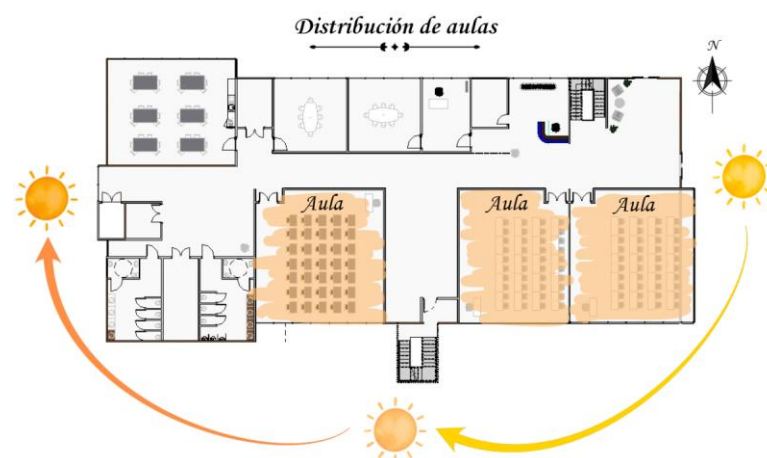
El archivo, por su parte, requiere condiciones ambientales aún más estables. La documentación almacenada es sensible a variaciones térmicas y a la radiación directa, por lo que su ubicación reduce la exposición solar directa y limita fluctuaciones térmicas bruscas, contribuyendo a la conservación del material.

La bodega, aunque de menor permanencia, se integra en esta misma franja por razones tanto funcionales como técnicas. La agrupación de espacios de servicio y apoyo en un mismo sector permite optimizar recorridos operativos y consolidar una organización clara del segundo nivel. Desde el punto de vista térmico, al no requerir iluminación directa ni visuales prioritarias, puede adaptarse a condiciones ambientales más variables dentro de una orientación que, en general, presenta menor agresividad solar que el oeste.

Esta zonificación evidencia una correspondencia directa entre análisis climático y organización programática, donde cada función se asigna a la orientación más compatible con sus requerimientos ambientales.

En términos de conectividad, la franja administrativa se vincula directamente con el pasillo central, garantizando recorridos claros y legibles. La concentración de funciones administrativas en un sector definido refuerza la estructura organizativa del edificio y mejora su eficiencia operativa.

Figura 61. Propuesta integral de distribución de aulas para el Segundo Nivel.



Nota: Elaboración propia

La ubicación de las aulas en los sectores este y sur del edificio responde a una estrategia bioclimática basada en el análisis de radiación solar, ventilación predominante y confort térmico para espacios de ocupación colectiva. A diferencia de los espacios administrativos, que requieren mayor estabilidad ambiental, las

aulas admiten variaciones controladas de iluminación y ventilación natural, lo que permite aprovechar de manera más activa las condiciones solares y eólicas del sitio.

La fachada este recibe radiación solar directa durante las primeras horas de la mañana, esta condición resulta favorable para el uso educativo, ya que permite el ingreso de iluminación natural temprana, reduciendo la necesidad de iluminación artificial durante el día. Además, la radiación matutina es térmicamente menos agresiva que la radiación de la tarde proveniente del oeste, lo que disminuye el riesgo de sobrecalentamiento en horas de mayor ocupación. No obstante, para evitar deslumbramientos o ganancias térmicas excesivas, es necesario incorporar elementos de control solar vertical, tales como celosías o parasoles orientables, que permitan regular la entrada de luz sin comprometer la ventilación natural.

Por su parte, la orientación sur presenta un comportamiento estacional particular que, según el análisis de recorridos solares, esta fachada recibe mayor incidencia entre abril y septiembre, cuando el sol se desplaza hacia el hemisferio norte y la radiación incide con mayor intensidad sobre esta orientación. Durante el resto del año, la incidencia directa disminuye considerablemente. Esta variabilidad convierte a la fachada sur en una orientación estratégicamente aprovechable, siempre que se incorporen

dispositivos de control solar horizontal o mixto que limiten la penetración directa en los periodos de mayor exposición.

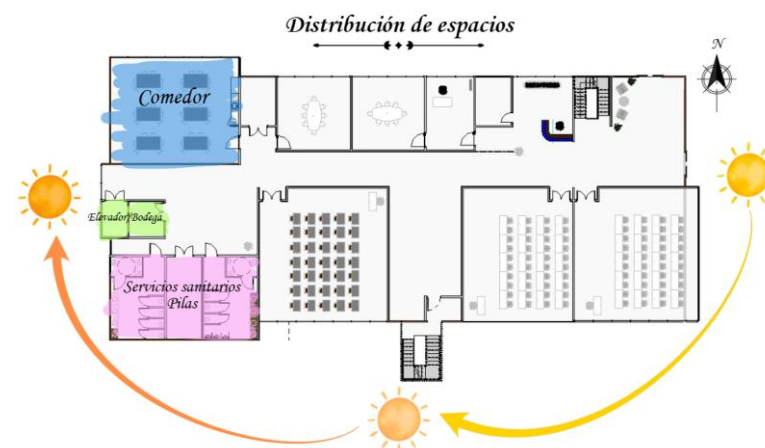
La ventaja principal de esta orientación radica en la posibilidad de recibir iluminación natural abundante sin la carga térmica constante que caracteriza a la fachada oeste.

Desde el punto de vista del confort térmico, la ubicación de las aulas en estos sectores permite articular estrategias de ventilación cruzada, considerando que los vientos predominantes provienen del este. Las aberturas dispuestas en la fachada este pueden captar las corrientes dominantes, mientras que salidas de aire hacia el sur o hacia corredores interiores facilitan la renovación continua del aire.

En términos espaciales y de conectividad, las aulas mantienen una relación directa con el pasillo central y con las escaleras, facilitando flujos de ingreso y evacuación ordenados.

Su ubicación perimetral favorece además la iluminación y ventilación natural directa, evitando configuraciones profundas que dependan exclusivamente de sistemas mecánicos.

Figura 62. Propuesta integral de distribución de espacios al lado Oeste del edificio, para el Segundo Nivel.



Nota: Elaboración propia

La ubicación del comedor, el núcleo de elevador, la bodega y los servicios sanitarios en el sector oeste del edificio responde a una estrategia proyectual que reconoce el comportamiento crítico de esta orientación en el contexto climático de la zona. De acuerdo con el análisis de recorridos solares desarrollado previamente, la fachada oeste recibe radiación directa en horas de la tarde, particularmente durante equinoccios y solsticios, cuando el ángulo solar es bajo y la penetración de la radiación es más profunda y térmicamente intensa. Esta condición genera mayores riesgos de sobrecalentamiento y deslumbramiento, especialmente en espacios de permanencia prolongada.

En este sentido, la decisión de ubicar en el oeste espacios de servicio y uso intermitente constituye una medida pasiva de control térmico por zonificación.

Los servicios sanitarios y la bodega, al no requerir iluminación natural directa ni visuales prioritarias, funcionan como una franja de amortiguamiento térmico entre el exterior y los espacios académicos principales. Esta disposición actúa como barrera climática que absorbe y desacopla parcialmente la carga térmica incidente sobre la fachada, reduciendo el impacto directo sobre las aulas y áreas administrativas.

Los servicios sanitarios, en particular, presentan condiciones de ocupación temporal y requerimientos de ventilación permanente, el uso de ventanería tanto en el sur como en el oeste permite que se dé una ventilación cruzada en este espacio por la diferencia de presión generada por la temperatura. De esta manera, estos espacios no solo toleran mejor la carga térmica, sino que contribuyen al comportamiento ambiental general del edificio.

La bodega, por su parte, no demanda condiciones estrictas de iluminación natural y puede operar con control térmico indirecto mediante aislamiento y ventilación regulada. Ubicarla en el oeste minimiza la exposición de áreas críticas a la radiación directa y consolida el criterio de colocar espacios de menor sensibilidad térmica en orientaciones más exigentes.

El comedor presenta una condición distinta, ya que es un espacio de permanencia media y alta ocupación. No obstante, su localización en el oeste puede justificarse desde varias perspectivas.

En primer lugar, el horario de uso del comedor suele concentrarse en periodos específicos del día, principalmente al mediodía y primeras horas de la tarde. Durante el mediodía, la radiación es mayormente cenital y se concentra en cubiertas, mientras que la radiación directa sobre fachada oeste se intensifica después de las 14:00 horas. Esto permite que el espacio pueda aprovechar iluminación natural durante las horas de uso principal, siempre que se integren sistemas de control solar vertical, como parasoles profundos, celosías o elementos vegetales que mitiguen la radiación rasante.

En segundo lugar, la ventilación natural proveniente del este puede atravesar el edificio y favorecer la renovación del aire en el comedor, disipando el calor acumulado en horas posteriores. La combinación de ventilación cruzada y protección solar adecuada permite compensar las condiciones críticas de esta orientación y mantener niveles aceptables de confort térmico.

El elevador, al ubicarse en este sector, no responde únicamente a criterios climáticos, sino también a la lógica estructural y de conectividad del edificio. Desde el punto de vista térmico, el núcleo vertical puede funcionar como masa de inercia que ayuda

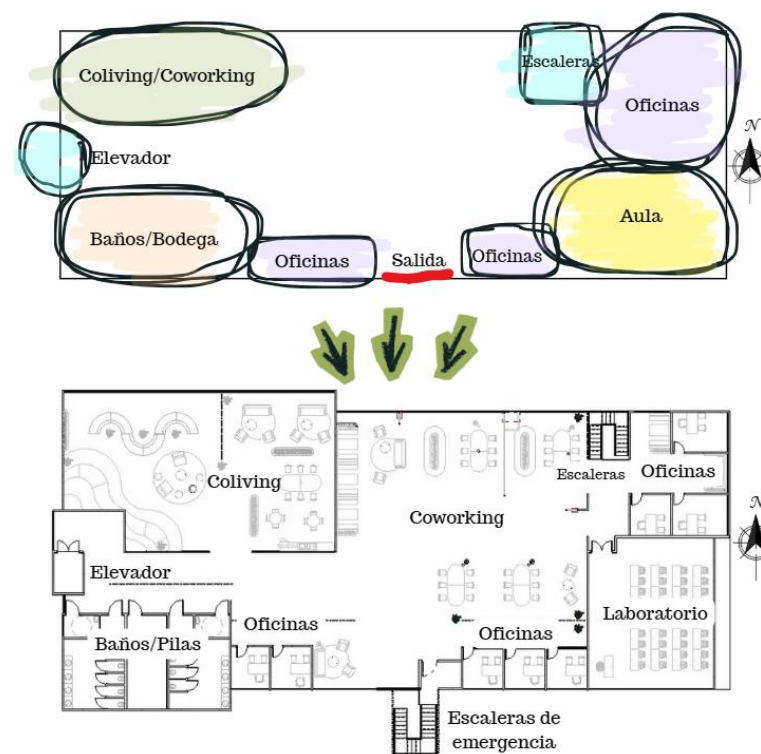
a estabilizar parcialmente las variaciones térmicas en la fachada expuesta, especialmente si se emplean materiales con capacidad de disipación controlada del calor.

En términos de conectividad interna, la concentración de estos espacios en el oeste permite liberar otras fachadas para usos que requieren mayor estabilidad ambiental. Además, la proximidad entre comedor, servicios sanitarios y núcleo vertical optimiza la circulación y reduce recorridos innecesarios, consolidando una franja funcional claramente diferenciada del bloque académico.

3.5.2. Propuesta de diseño para el Tercer Nivel

La propuesta de diseño para el tercer nivel del edificio se desarrolla de la siguiente manera:

Figura 63. Propuesta integral de distribución funcional y circulaciones proyectadas para el Tercer Nivel

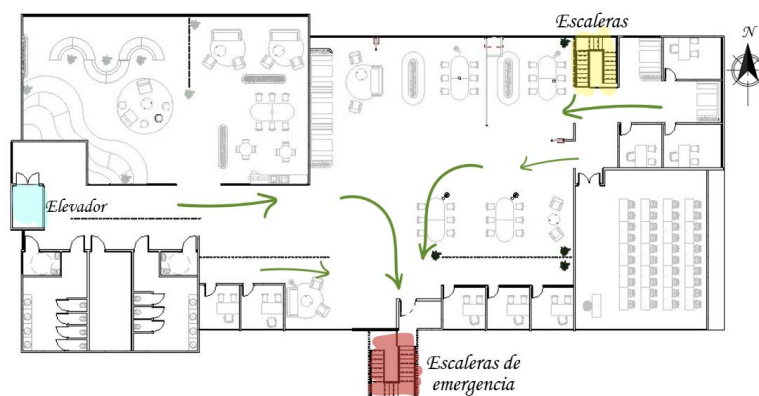


Nota: Elaboración propia

Circulaciones proyectadas

En la siguiente figura se detalla la propuesta planteada en una vista en planta del tercer nivel con sus accesos correspondientes.

Figura 64. Propuesta integral de circulaciones proyectadas para el Tercer Nivel



Nota: Elaboración propia

- **Elevador ubicado en el sector oeste de la sala**

El elevador se localiza estratégicamente en el sector oeste del tercer piso, próximo al eje principal de circulación horizontal. Esta ubicación permite que el elevador funcione como un nodo de distribución accesible, facilitando el desplazamiento inclusivo hacia los distintos espacios del nivel, tales como áreas de trabajo colaborativo, oficinas y el laboratorio

Su conexión directa con el pasillo principal garantiza recorridos claros y continuos, evitando cruces innecesarios o desplazamientos largos. Además, al situarse en un punto intermedio del conjunto, el elevador equilibra los flujos provenientes de los niveles inferiores, permitiendo una

distribución eficiente tanto hacia el sector este como hacia las áreas centrales del edificio.

Desde el punto de vista de accesibilidad universal, el elevador asegura que todas las funciones del tercer nivel sean utilizables por personas con movilidad reducida, reforzando el carácter inclusivo del edificio y su adecuación a un uso educativo de alta concurrencia.

- **Escaleras continuas desde el primer hasta el tercer piso**

Las escaleras principales se plantean como un sistema continuo de circulación vertical, conectando de manera directa y sin interrupciones el primer, segundo y tercer piso. Esta continuidad facilita una lectura clara del edificio y promueve desplazamientos intuitivos entre niveles, especialmente para usuarios frecuentes como estudiantes, docentes y personal administrativo.

Su localización en el extremo este del edificio responde a criterios de orden funcional, concentrando la circulación vertical en un punto claramente identificable y fácilmente reconocible desde los distintos niveles. Esto reduce la dispersión de flujos y mejora la eficiencia del movimiento interno.

Además, estas escaleras funcionan como una alternativa permanente al elevador, fomentando la movilidad activa y reduciendo la dependencia de sistemas mecánicos, lo cual resulta

coherente con criterios de sostenibilidad operativa y eficiencia energética en edificaciones educativas.

- **Conectividad de los espacios con la salida de emergencia**

Todos los espacios del tercer piso se encuentran directamente conectados, mediante pasillos claramente definidos, con la escalera de emergencia ubicada en el sector central del edificio. Esta disposición garantiza recorridos de evacuación cortos, continuos y fácilmente identificables, minimizando la distancia entre los puntos de ocupación y la salida segura.

La organización del pasillo central como eje de evacuación permite que los flujos provenientes tanto del sector oeste como del este confluyan de manera ordenada hacia la escalera de emergencia, evitando cruces conflictivos y posibles cuellos de botella durante una evacuación.

Asimismo, la ubicación de la escalera de emergencia responde a criterios normativos de seguridad humana, asegurando que desde cualquier punto del nivel exista una ruta directa y legible hacia una salida protegida. Esta condición resulta fundamental en un edificio educativo, donde la evacuación debe ser rápida, clara y comprensible para usuarios de diferentes edades y niveles de familiaridad con el edificio.

- **Integración del sistema de circulación vertical y horizontal**

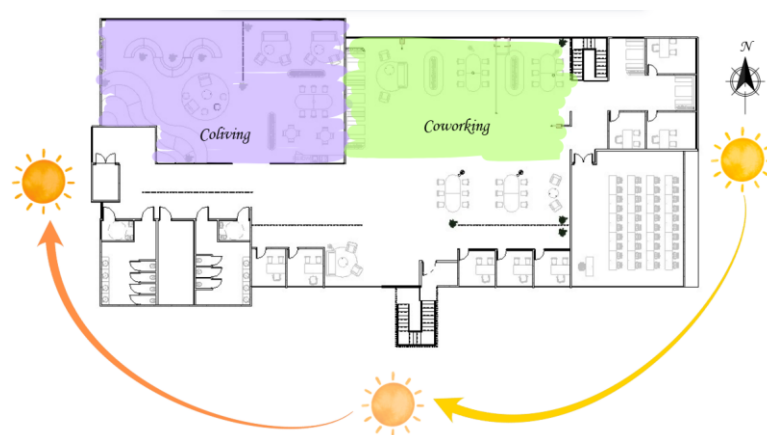
El sistema conformado por el elevador, las escaleras principales y la escalera de emergencia se concibe de manera integrada, permitiendo que la circulación vertical se articule de forma eficiente con los recorridos horizontales del tercer piso. Esta integración asegura que los desplazamientos cotidianos y los recorridos de emergencia compartan una lógica espacial coherente, reforzando la legibilidad del edificio.

La combinación de estos elementos garantiza un equilibrio entre funcionalidad, accesibilidad, seguridad y eficiencia, consolidando un esquema de circulación adecuado para un edificio educativo, adaptable a distintos patrones de uso y capaz de responder tanto a condiciones normales de operación como a situaciones de emergencia.

Distribución funcional de espacios

En la siguiente figura se detalla la propuesta planteada en una vista en planta del tercer nivel para la distribución funcional de espacios.

Figura 65. Propuesta integral de distribución de espacios de coliving y coworking para el Tercer Nivel.



Nota: Elaboración propia

La incorporación de los espacios de coliving y coworking dentro de la propuesta arquitectónica responde a una visión contemporánea del edificio educativo como entorno híbrido, donde el aprendizaje, la interacción social y la colaboración profesional se integran en un mismo sistema espacial.

El espacio de coliving, concebido como un entorno flexible de encuentro, descanso y socialización, se ubica en el sector oeste del edificio. Esta orientación, caracterizada por recibir radiación solar directa en horas de la tarde, presenta mayores desafíos térmicos debido a la incidencia rasante del sol y a la acumulación de calor en periodos posteriores al mediodía. Sin embargo, al tratarse de

un espacio de uso flexible y dinámico puede tolerar variaciones ambientales moderadas siempre que se implementen estrategias de control solar adecuadas.

La incorporación de elementos como celosías verticales, parasoles profundos o vegetación de sombra permite filtrar la radiación directa, reduciendo el deslumbramiento y las ganancias térmicas excesivas. Asimismo, la posibilidad de integrar ventilación cruzada, utilizando ventanería al norte y al oeste de este espacio, favorece la disipación del calor acumulado en horas de la tarde. Esta combinación de protección solar y ventilación natural convierte el espacio en un ambiente confortable, adaptable y coherente con los principios de diseño pasivo adoptados en el proyecto.

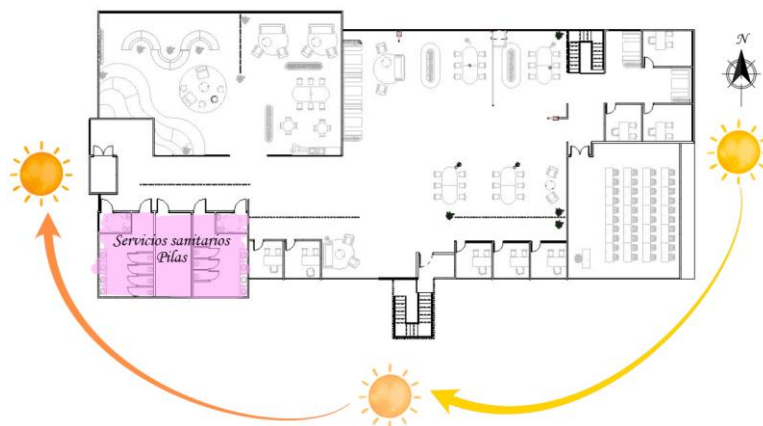
Desde el punto de vista funcional, la proximidad entre coliving y coworking refuerza la lógica de complementariedad programática. Mientras el coworking concentra actividades de trabajo estructurado y colaboración académica o profesional, el coliving ofrece un espacio más relajado y social, permitiendo pausas activas y encuentros informales. Esta relación espacial favorece la interacción interdisciplinaria y dinamiza el edificio como ecosistema educativo.

Asimismo, su ubicación en la franja superior del edificio permite que ambos espacios mantengan contacto directo con fachadas perimetrales, condición que garantiza iluminación y ventilación

natural directa, evitando configuraciones profundas que dependan exclusivamente de sistemas mecánicos.

En términos de confort integral, la disposición diferenciada de coliving y coworking según su orientación permite asignar cada uso a la condición solar más compatible con su dinámica de ocupación. El coworking aprovecha la estabilidad térmica de la mañana en el este, mientras que el coliving se adapta a la variabilidad térmica del oeste mediante estrategias de control pasivo. Esta zonificación demuestra una correspondencia clara entre comportamiento climático, tipo de uso y diseño arquitectónico.

Figura 66. Propuesta de pilas y servicios sanitarios para el Tercer Nivel.



Nota: Elaboración propia

La ubicación de las pilas y los servicios sanitarios en el sector oeste del edificio responde a una estrategia proyectual que articula criterios de funcionamiento interno con el comportamiento climático del sitio. Esta decisión obedece a una intención bioclimática que busca aprovechar las condiciones térmicas y de ventilación de esta orientación.

Al tratarse de espacios de ocupación temporal y baja permanencia, pueden tolerar mayores variaciones térmicas en comparación con aulas u oficinas.

Asimismo, estos espacios requieren ventilación constante para garantizar condiciones adecuadas de salubridad, especialmente en un clima caracterizado por una humedad relativa elevada durante todo el año.

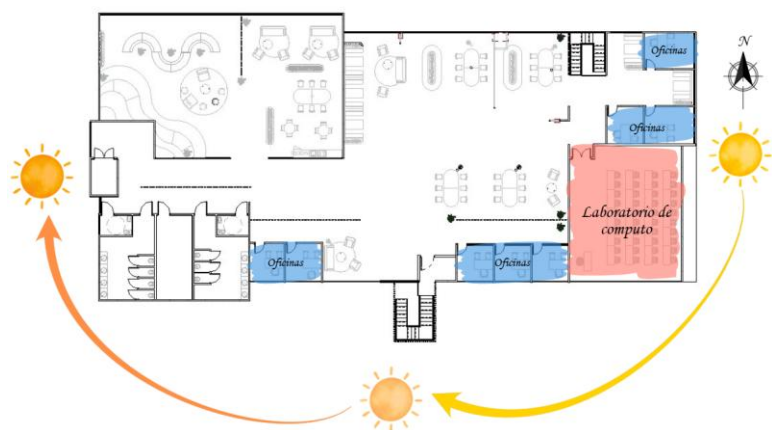
La agrupación de pilas y servicios sanitarios en un mismo sector también responde a criterios de eficiencia constructiva y operativa, ya que al concentrar los núcleos húmedos permite optimizar instalaciones hidráulicas y sanitarias, reducir recorridos de tuberías y facilitar el mantenimiento. Esta decisión mejora la racionalidad técnica del edificio y disminuye costos tanto de construcción como de operación a largo plazo.

En términos funcionales, su ubicación en proximidad con áreas de uso colectivo (como aulas y espacios colaborativos) garantiza accesibilidad rápida y recorridos cortos para los usuarios, sin interferir directamente con los espacios de mayor permanencia. La

relación con el pasillo principal asegura conectividad clara y legible, mientras que su posición perimetral permite iluminación y ventilación natural controlada, reduciendo la dependencia de sistemas mecánicos.

Desde una perspectiva integral, la localización de pilas y servicios sanitarios en el sector oeste consolida una estrategia coherente de zonificación climática del edificio. Al asignar a esta orientación los espacios de servicio y uso intermitente, se protege el confort de áreas más sensibles, se optimiza la ventilación natural y se refuerza el carácter sostenible de la propuesta arquitectónica.

Figura 67. Propuesta integral de distribución de oficinas y el laboratorio de cómputo para el Tercer Nivel.



Nota: Elaboración propia

Las oficinas, distribuidas de manera perimetral y vinculadas al pasillo central, se ubican principalmente en orientaciones este y sectores intermedios del edificio. Esta disposición permite aprovechar la radiación solar matutina, menos agresiva térmicamente, favoreciendo la iluminación natural en las primeras horas de la jornada laboral sin generar sobrecalentamiento significativo. La orientación este ofrece una condición óptima para espacios administrativos y de trabajo individual, ya que combina luz natural abundante con menores cargas térmicas en comparación con la fachada oeste.

Además, la ubicación de las oficinas en contacto directo con fachada facilita la ventilación natural. Considerando que los vientos predominantes provienen del este, las aberturas estratégicamente ubicadas permiten captar estas corrientes y renovar el aire interior, mejorando la sensación térmica en un clima caracterizado por alta humedad relativa. Esta condición resulta especialmente importante en espacios de ocupación prolongada, donde la calidad del aire interior incide directamente en el rendimiento y bienestar de los usuarios.

En el caso del laboratorio de cómputo, su ubicación en el sector este del edificio responde a criterios aún más específicos de control ambiental. La orientación este permite recibir iluminación natural indirecta en horas tempranas, reduciendo la dependencia de iluminación artificial sin exponer el espacio a radiación directa

intensa durante la tarde, cuando el sobrecalentamiento podría comprometer el funcionamiento de los equipos y el confort de los usuarios.

La localización del laboratorio en una franja perimetral facilita la implementación de dispositivos de control solar vertical que regulen la entrada de luz sin bloquear completamente la ventilación natural. Esta estrategia permite equilibrar iluminación, ventilación y control térmico, minimizando el uso de sistemas mecánicos de climatización.

Desde el punto de vista de conectividad interna, la proximidad entre oficinas y laboratorio de cómputo fortalece la dinámica académica y administrativa, permitiendo interacción eficiente entre docentes, personal técnico y estudiantes.

En términos bioclimáticos, la decisión de ubicar estos espacios en orientaciones controlables y menos críticas que el oeste evidencia una correspondencia directa entre análisis climático y organización programática.

Desarrollo de la propuesta

1. Componentes móviles

Dentro de la propuesta arquitectónica del edificio se incorporan diversos componentes móviles que permiten mejorar la flexibilidad, adaptabilidad y desempeño ambiental de los espacios. Estos elementos responden a la necesidad de diseñar un edificio educativo capaz de ajustarse a diferentes dinámicas de uso, favoreciendo tanto la funcionalidad de los espacios como las condiciones de confort para los usuarios.

Los componentes móviles permiten modificar la configuración espacial, regular la ventilación natural y controlar la incidencia de la radiación solar, contribuyendo al adecuado funcionamiento del edificio en distintas condiciones climáticas y operativas.

1.1. Paredes

Las paredes móviles se incorporan dentro de la propuesta arquitectónica como una estrategia para dotar al edificio de mayor flexibilidad espacial. Su implementación surge a partir de la necesidad de contar con un espacio amplio de uso común, como lo es el área de coworking, que pueda adaptarse a diferentes dinámicas académicas según las necesidades de los usuarios.

Mediante la utilización de estos sistemas modulares, el espacio puede funcionar como un área abierta destinada al trabajo colaborativo, la interacción entre estudiantes y profesores, así como el desarrollo de actividades académicas informales. Al mismo tiempo, las paredes móviles permiten subdividir el área para generar pequeñas salas de reuniones o espacios de trabajo más privados, lo cual facilita la realización de tutorías, reuniones académicas o trabajo en grupos reducidos.

Figura 68. Pared móvil cerrada (rieles)



Nota: Se obtiene la imagen ilustrativa de Desmon (2021)

La incorporación de este tipo de soluciones arquitectónicas responde a las tendencias actuales en el diseño de espacios educativos, donde la flexibilidad y la adaptabilidad del espacio se convierten en elementos fundamentales para responder a diferentes tipos de actividades de aprendizaje.

Figura 69. Pared móvil abierta (rieles)



Nota: Se obtiene la imagen ilustrativa de Desmon (2021)

De esta manera, el diseño del coworking no se limita a una única configuración espacial, sino que permite múltiples posibilidades de uso a lo largo del tiempo.

Desde el punto de vista constructivo y de viabilidad, en Costa Rica existen diversos proveedores que ofrecen sistemas de paredes móviles o paneles modulares para este tipo de aplicaciones, entre los que destacan empresas como Tecnimuebles y Fulzer, entre otras.

Además, su disponibilidad en el mercado nacional permite una instalación relativamente accesible en zonas cercanas a Cartago, lo cual favorece la factibilidad técnica de la propuesta.

Figura 70. Pared móvil con ruedas del proveedor Tecnimuebles

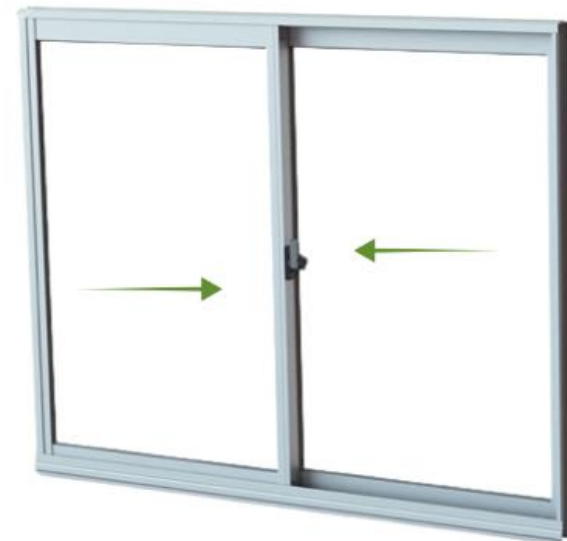


Nota: Se obtiene la imagen ilustrativa de Tecnimuebles (2025)

1.2. Ventanería

Como parte de las estrategias de ventilación natural del edificio, se propone la incorporación de ventanas móviles tipo corredizas en diferentes espacios del proyecto tales como aulas, oficinas, salas de reuniones, recepción, comedor y áreas de coliving y coworking, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 71. Ventanas corredizas



Nota: Se obtiene imagen ilustrativa de Google Imágenes

Este tipo de sistema permite que uno o ambos paños de la ventana se desplacen horizontalmente sobre rieles, facilitando su apertura y cierre de manera sencilla según las necesidades de los usuarios y las condiciones ambientales del momento.

Desde el punto de vista funcional, las ventanas corredizas permiten regular el flujo de aire que ingresa al interior del edificio, favoreciendo la ventilación natural y mejorando las condiciones de confort térmico de los espacios. Al poder abrirse parcial o completamente, los usuarios tienen la posibilidad de controlar la cantidad de ventilación, lo cual resulta especialmente útil en espacios de uso variable como aulas, salas de reunión o áreas de trabajo colaborativo.

Adicionalmente, el uso de ventanas corredizas ofrece ventajas operativas importantes, ya que no requieren espacio adicional para su apertura, a diferencia de otros sistemas abatibles, lo que facilita su implementación en fachadas con pasillos, mobiliario cercano o zonas de circulación. Su diseño también permite integrar marcos de aluminio y vidrio de alta durabilidad, garantizando un adecuado desempeño frente a las condiciones climáticas de la región.

Adicionalmente, el proyecto incorpora ventanas abatibles superiores, similares a la mostrada en la figura, las cuales se ubican en la parte alta de las paredes que conectan las aulas y oficinas con el pasillo principal del edificio. Este tipo de ventana

funciona mediante un sistema de apertura hacia el exterior con eje en la parte superior, permitiendo que el panel se incline y genere una abertura controlada que facilita la circulación del aire entre los espacios interiores.

Figura 72. Ventana abatible



Nota: Se obtiene imagen ilustrativa de Google Imágenes.

La función principal de estas ventanas es favorecer la ventilación natural interna del edificio, permitiendo que el aire circule entre los espacios de las aulas, oficinas y el pasillo central. Cuando se combinan con las ventanas exteriores ubicadas en las fachadas del edificio, se genera un flujo continuo de aire, lo que contribuye a

mejorar la renovación del aire interior y a reducir la acumulación de calor dentro de los espacios.

Asimismo, permite que incluso cuando las puertas permanecen cerradas, exista un mecanismo pasivo de intercambio de aire entre los espacios interiores del edificio.

1.3. Parasoles

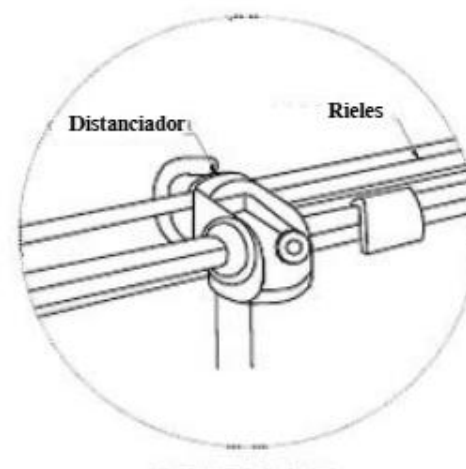
Estos elementos funcionan mediante un sistema mecánico que permite el movimiento de cada louver, lo cual facilita ajustar su posición según la incidencia del sol a lo largo del día. De esta manera, es posible controlar la cantidad de radiación solar que ingresa al interior del edificio, mejorando las condiciones de confort térmico y visual para los usuarios.

El uso de louvers de aluminio presenta diversas ventajas desde el punto de vista constructivo y de desempeño.

Según Random Materials & Equipment (s.f.) este material se caracteriza por su alta durabilidad, ya que es resistente a la corrosión y al desgaste, lo que garantiza una larga vida útil incluso en condiciones climáticas húmedas o tropicales. También, requiere un mantenimiento mínimo, ya que no se oxida ni se deforma con facilidad, lo cual facilita su limpieza y conservación a lo largo del tiempo.

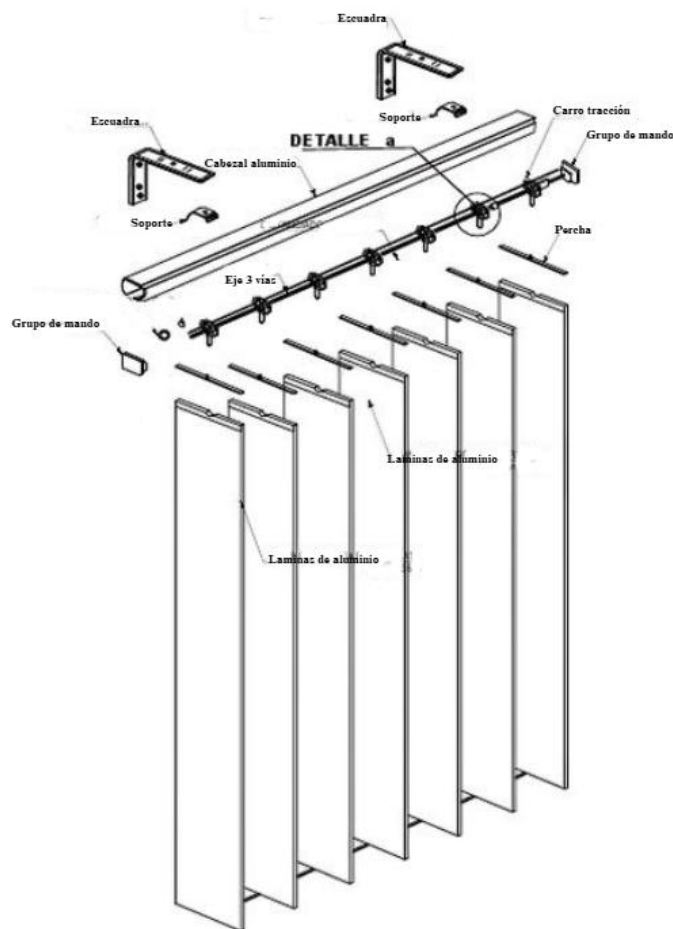
Otra ventaja importante es su ligereza estructural, lo que permite reducir las cargas sobre la edificación y facilita su instalación.

Figura 73. Funcionamiento mecánico de los parasoles



Nota: Se obtiene la imagen ilustrativa de Rafaele (s.f.)

Figura 74. Funcionamiento mecánico de los parasoles



Nota: Se obtiene la imagen ilustrativa de Rafaele (s.f.)

Los louvers permiten controlar la entrada de luz natural al interior del edificio mientras bloquean los rayos solares directos, lo cual

ayuda a mantener temperaturas interiores más estables y reduce la necesidad de sistemas de aire acondicionado. De igual manera, facilitan la circulación del aire y favorecen la ventilación natural de los espacios, lo cual contribuye a mantener ambientes interiores más confortables y saludables para los usuarios.

2. Estrategias pasivas y activas aplicadas en el diseño

El presente apartado desarrolla el conjunto de estrategias pasivas y activas incorporadas en la propuesta arquitectónica para la ampliación y remodelación del edificio G5 como la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO). Estas estrategias constituyen un eje fundamental del diseño, ya que permiten responder de manera eficiente a las condiciones climáticas del sitio, optimizar el uso de los recursos naturales y mejorar el desempeño ambiental del edificio.

Desde una perspectiva integral, el diseño sostenible se basa en la priorización de estrategias pasivas, las cuales aprovechan las condiciones naturales del entorno para garantizar el confort térmico, visual y ambiental sin depender exclusivamente de sistemas mecánicos. Estas soluciones, integradas desde la concepción arquitectónica, permiten reducir significativamente la demanda energética del edificio y mejorar la calidad del ambiente interior.

Se incorporan estrategias activas orientadas a la eficiencia energética y a la gestión responsable de los recursos, mediante la implementación de tecnologías como sistemas de captación de agua pluvial y generación de energía mediante paneles fotovoltaicos

En este sentido, el proyecto no solo busca mejorar las condiciones de confort y funcionamiento del edificio, sino también consolidarse como un referente de diseño sostenible dentro del contexto universitario.

2.1. Estrategias pasivas

El proyecto incorpora diversas estrategias pasivas de diseño bioclimático, las cuales permiten mejorar el confort ambiental del edificio sin depender exclusivamente de sistemas mecánicos de climatización.

Entre las estrategias pasivas más relevantes se encuentran:

2.1.1. Ventilación cruzada natural

La configuración espacial del edificio y la ubicación estratégica de las ventanas permiten favorecer la circulación natural del aire entre fachadas opuestas. Este mecanismo contribuye a mejorar la calidad del aire interior, reducir la acumulación de calor y disminuir la necesidad de sistemas de climatización artificial.

Figura 75. Ventilación natural



Nota: Elaboración propia.

2.1.2. Aprovechamiento de iluminación natural

El diseño de fachadas y aperturas busca maximizar el ingreso de luz natural en aulas, oficinas y áreas comunes. Esto reduce significativamente la dependencia de iluminación artificial durante el día, generando ahorros energéticos y mejorando el bienestar visual de los usuarios.

Figura 76. Iluminación natural y ventilación natural en espacios internos



Nota: Elaboración propia

2.1.3. Control solar mediante parasoles arquitectónicos

Las fachadas del edificio incorporan elementos de control solar que reducen la incidencia directa de radiación sobre los espacios interiores. Esta estrategia permite disminuir la ganancia térmica y mantener condiciones de confort sin incrementar el consumo energético.

2.1.4. Organización bioclimática de los espacios

La distribución de los ambientes considera la orientación solar y las condiciones climáticas del sitio, ubicando las áreas de mayor permanencia en zonas con mejor iluminación natural y ventilación. Esta organización contribuye a mejorar el confort térmico y lumínico de los usuarios.

2.1.5. Pared verde

Este sistema consiste en la integración de vegetación sobre superficies verticales mediante estructuras modulares que permiten el crecimiento de plantas con sistemas de riego controlado.

Además de su aporte al control térmico, la pared verde contribuye a mejorar la calidad del aire y a reforzar la integración del edificio con las áreas verdes del campus universitario. Este elemento también fortalece el carácter sostenible de la propuesta arquitectónica, funcionando como un recurso paisajístico y educativo que evidencia la aplicación de soluciones ambientales dentro de la infraestructura universitaria.

Figura 77. Pared verde



Nota: Elaboración propia.

Estas estrategias pasivas representan uno de los principales aportes ambientales del proyecto, ya que permiten reducir la demanda energética desde el diseño arquitectónico, lo cual resulta más eficiente que depender exclusivamente de tecnologías activas.

2.2. Estrategias activas

El proyecto incorpora diversas estrategias activas, las cuales contemplan la incorporación de tecnologías activas orientadas a la eficiencia energética y a la gestión responsable de recursos.

2.2.1. Sistema de recolección de agua pluvial

El sistema de recolección de agua pluvial se incorpora en la propuesta como una estrategia activa orientada al aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos disponibles en el sitio.

Esta solución permite captar, almacenar y reutilizar el agua proveniente de la precipitación, contribuyendo a reducir el consumo de agua potable en actividades que no requieren calidad potable, tales como limpieza, riego de áreas verdes o descarga de servicios sanitarios.

Para el dimensionamiento preliminar del sistema se consideraron los datos climáticos de precipitación registrados para la zona, los cuales indican una precipitación anual acumulada de 1463,5 mm, distribuida a lo largo de 237 días con lluvia al año. Estos valores evidencian una disponibilidad significativa de agua pluvial que puede ser aprovechada mediante un sistema de captación adecuado.

El área de captación considerada corresponde aproximadamente a 700 m², equivalente a la superficie de cubierta de la mitad del edificio.

Para estimar el volumen potencial de agua recolectada se utilizó la expresión general para captación de agua pluvial:

$$V = P \cdot A \cdot C$$

Donde:

V: volumen de agua captada

P: precipitación anual (m)

A: área de captación de techo (m²)

C: coeficiente de escorrentía del techo

Considerando una precipitación anual de 1,4635 m, un área de captación de 600 m² (escorrentía equivalente a un agua del techo) y un coeficiente de escorrentía aproximado de 0,85 para cubiertas impermeables, se obtiene un volumen potencial de captación de aproximadamente 746,39 m³ por año, lo que equivale a 746.390 litros de agua anuales.

Este volumen evidencia el alto potencial de aprovechamiento del recurso hídrico en el proyecto. Sin embargo, debido a limitaciones de espacio y a la lógica de almacenamiento necesaria para el funcionamiento del sistema, se propone la instalación de dos tanques de almacenamiento cisterna subterráneo de 5000 litros

cada uno, alcanzando una capacidad total de 10.000 litros (Catálogo del proveedor La Casa del Tanque).

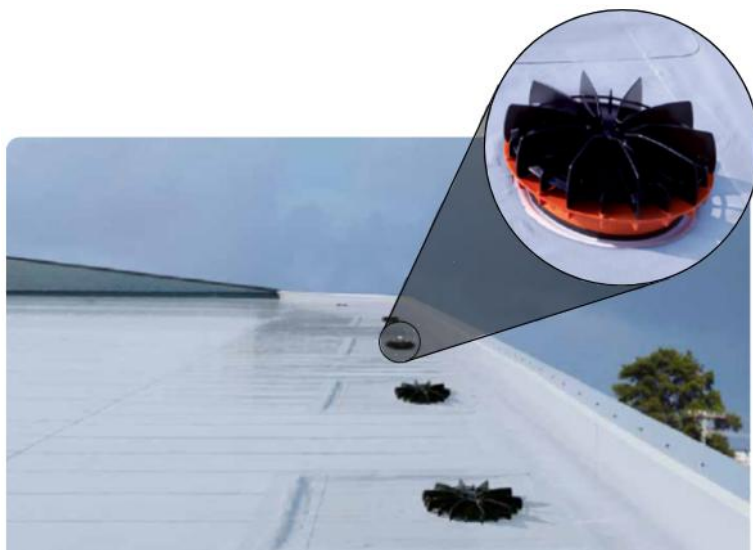
Este tipo de tanque está diseñado para ser instalado bajo el nivel del terreno, lo cual permite optimizar el uso del espacio exterior del edificio y facilitar su integración con la infraestructura existente.

Además, su ubicación subterránea permite proteger el agua almacenada de la radiación solar, lo que contribuye a mantener mejores condiciones de conservación del agua y reduce la proliferación de algas o contaminantes.

Por otro lado, esta capacidad permite almacenar una cantidad representativa del agua recolectada durante los eventos de lluvia frecuentes y mejorar el aprovechamiento del recurso durante los periodos secos.

Para la captación de agua pluvial en techos se propone el drenaje Akasison de Durman para cubiertas grandes, desde donde el agua es conducida mediante canales y bajantes pluviales hacia el sistema de filtración.

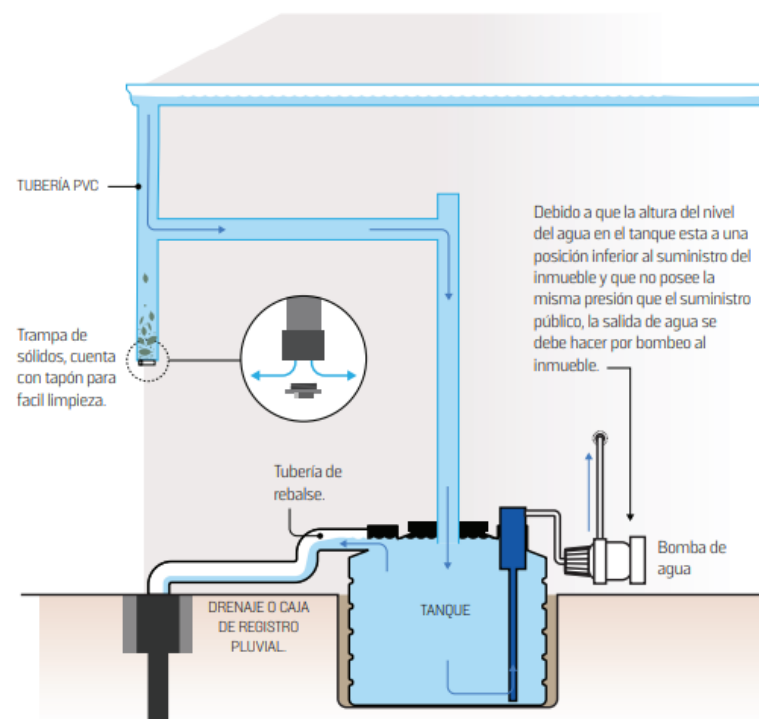
Figura 78. Sistema Akasison para captación de agua pluvial en techos



Nota: Se obtiene la imagen ilustrativa de Durman

Posteriormente, el agua pasa por un sistema de filtrado que permite eliminar hojas, sedimentos y otros sólidos presentes en el escurrimiento inicial. Finalmente, el agua es almacenada en los tanques de captación, desde donde puede ser distribuida para diferentes usos dentro del edificio por medio de un sistema de bombeo.

Figura 79. Sistema semienterrado para captación de agua pluvial



Nota: Se obtiene la imagen ilustrativa de Fundación Keto (2019)

La implementación de este sistema permite aprovechar de manera eficiente la precipitación disponible en la zona y contribuye a mejorar el desempeño ambiental del edificio. Asimismo, el uso de agua pluvial para aplicaciones no potables permite disminuir la demanda sobre la red de abastecimiento de agua potable, lo cual

representa una estrategia importante dentro del enfoque de sostenibilidad del proyecto.

En conjunto, el sistema de recolección de agua pluvial se integra como parte de las estrategias de gestión sostenible del recurso hídrico dentro del edificio, promoviendo un uso más eficiente del agua y fortaleciendo el enfoque ambiental de la propuesta arquitectónica.

2.2.2. Sistema fotovoltaico

Como parte de las estrategias activas del proyecto, se propone la incorporación de un sistema fotovoltaico conectado a red sobre las dos cubiertas disponibles del edificio.

Para la selección del módulo se consideró el panel solar bifacial tipo N TOPCon de 690 W comercializado por Sylvania Costa Rica, el cual presenta una configuración de alta potencia para aplicaciones en cubiertas de edificios, con dimensiones aproximadas de 2384×1303 mm, tecnología bifacial y una vida útil superior a 30 años.

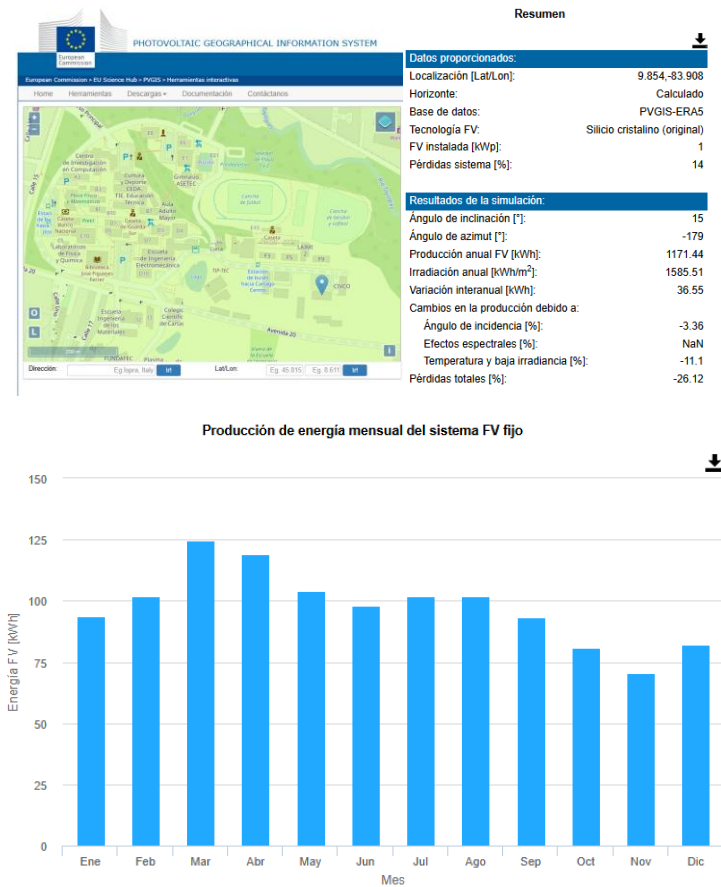
Figura 80. Sistema fotovoltaico Sylvania Costa Rica



Nota: Se obtiene la imagen ilustrativa de Silvania (2024)

Para estimar el rendimiento energético del sistema se utilizó la herramienta Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), desarrollada por el Joint Research Centre de la Comisión Europea. Esta plataforma permite calcular la radiación solar disponible y la producción eléctrica esperada de sistemas fotovoltaicos a partir de datos geográficos y meteorológicos del sitio.

Figura 81. Resultados extraídos de PVGIS



Nota: Se obtiene la herramienta PVGIS

Con base a este análisis se obtiene una producción específica estimada de 1171.44 kWh/kW por año y una irradiación anual de 1585.51 kWh/m².

La propuesta contempla la instalación de 96 paneles en la cubierta de 500 m² y 120 paneles en la cubierta de 600 m², para un total de 216 módulos fotovoltaicos. Esta distribución no ocupa la totalidad de las superficies disponibles, sino que deja áreas libres para circulación técnica, mantenimiento, seguridad perimetral, separación entre filas, posibles equipos auxiliares y maniobras de limpieza e inspección. Considerando el área unitaria del módulo, cada panel ocupa aproximadamente 3.11 m², por lo que el conjunto de 96 paneles requiere cerca de 298.2 m² en la cubierta de 500 m², mientras que los 120 paneles requieren aproximadamente 372.8 m² en la cubierta de 600 m².

En términos de capacidad instalada, los 96 paneles del primer techo equivalen a una potencia de 66.24 kWp, mientras que los 120 paneles del segundo techo representan 82.80 kWp. En conjunto, el sistema alcanza una capacidad total de 149.04 kWp. Asimismo, cada panel de 690 W aportaría en promedio cerca de 808.29 kWh/año bajo las condiciones climáticas simuladas para el sitio.

Los resultados evidencian que el emplazamiento posee condiciones adecuadas de irradiación y estabilidad de producción, por lo que la implementación del sistema se considera técnicamente viable y coherente con los objetivos de sostenibilidad energética del proyecto. Esta estrategia activa no

solo contribuye a reducir la dependencia de la red eléctrica, sino que también fortalece el enfoque ambiental y académico de la propuesta arquitectónica del proyecto.

Figura 82. Sistema fotovoltaico para el proyecto



Nota: Elaboración propia a partir de una imagen del G5 en Google Earth.

3. Sistema estructural

3.1. Elaboración del modelo estructural

Para el modelo estructural se utiliza el programa computacional ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems), versión 16.

El modelo se desarrolla con el objetivo de definir una propuesta estructural viable, coherente con el sistema constructivo seleccionado y sustentada en el análisis de la información técnica recopilada previamente. Asimismo, se evalúa el comportamiento global de la edificación ante las distintas solicitaciones de carga, en concordancia con el Código Sísmico de Costa Rica.

3.2. Propuesta de elementos estructurales de la edificación

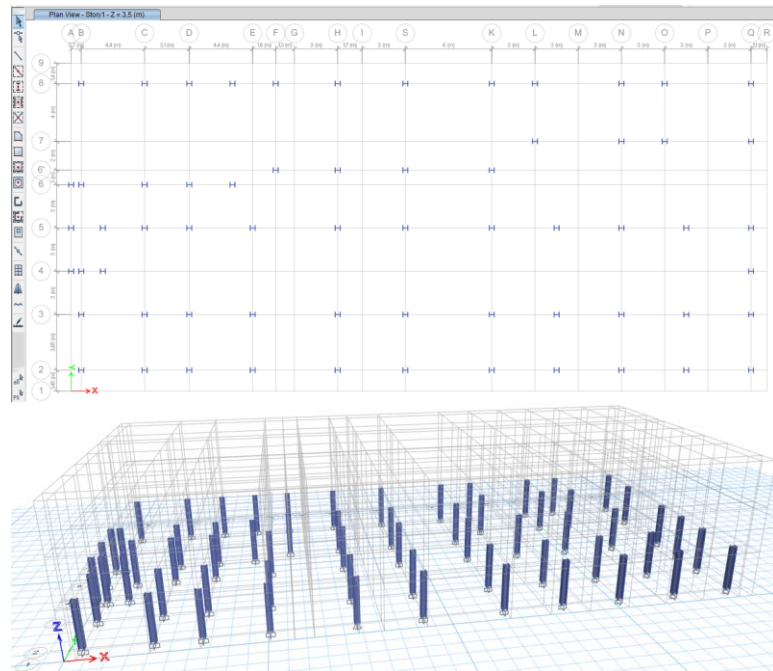
3.2.1. Columnas

Previo al modelado de los elementos estructurales, se verificó las dimensiones y los espaciamientos de las columnas según los lineamientos establecidos en el Código Sísmico de Costa Rica (2016). Con base en estos criterios y en el diseño arquitectónico definido, se propuso una distribución estructural para los tres niveles de la edificación.

Las columnas se modelaron como elementos tipo frame, utilizando perfiles de acero W10x12 y W14x109, seleccionados en función de las demandas estructurales y de la configuración geométrica del edificio.

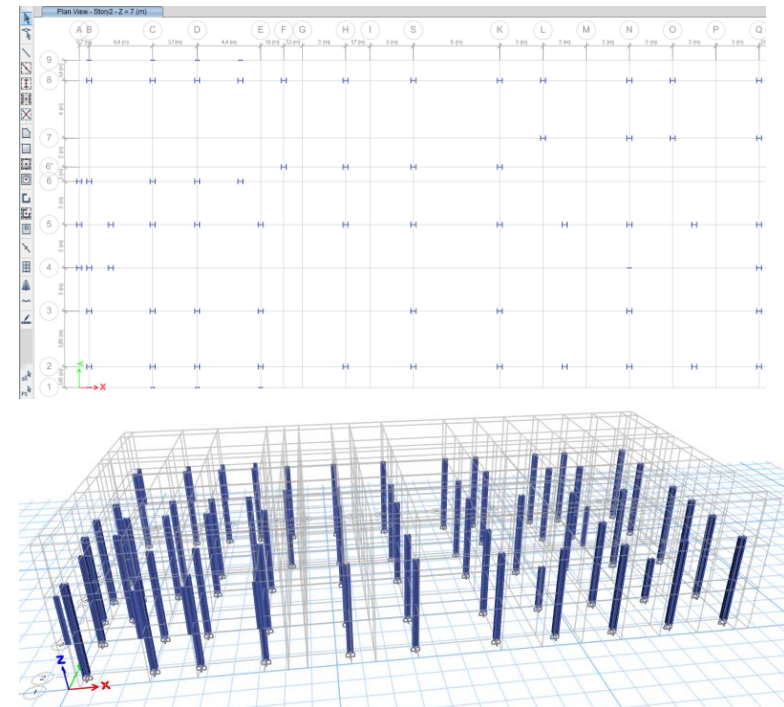
La distribución de columnas para los 3 niveles se estableció de la siguiente manera:

Figura 83. Distribución de columnas estructurales en el Primer Nivel



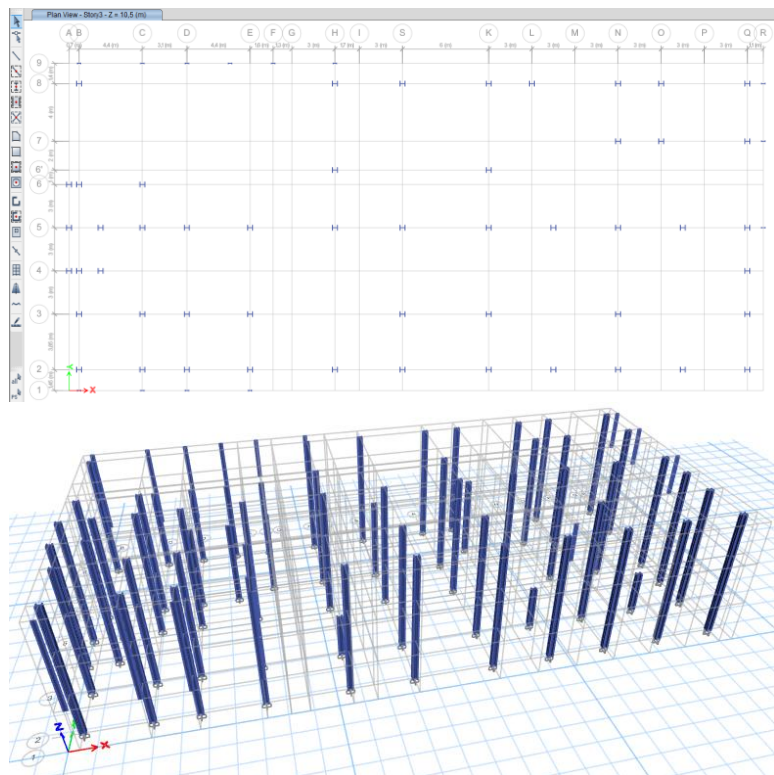
Nota: Se exporta la vista en planta y la vista 3D del modelo estructural elaborado en ETABS

Figura 84. Distribución de columnas estructurales en el Segundo Nivel



Nota: Se exporta la vista en planta y la vista 3D del modelo estructural elaborado en ETABS

Figura 85. Distribución de columnas estructurales en el Tercer Nivel



Nota: Se exporta la vista en planta y la vista 3D del modelo estructural elaborado en ETABS

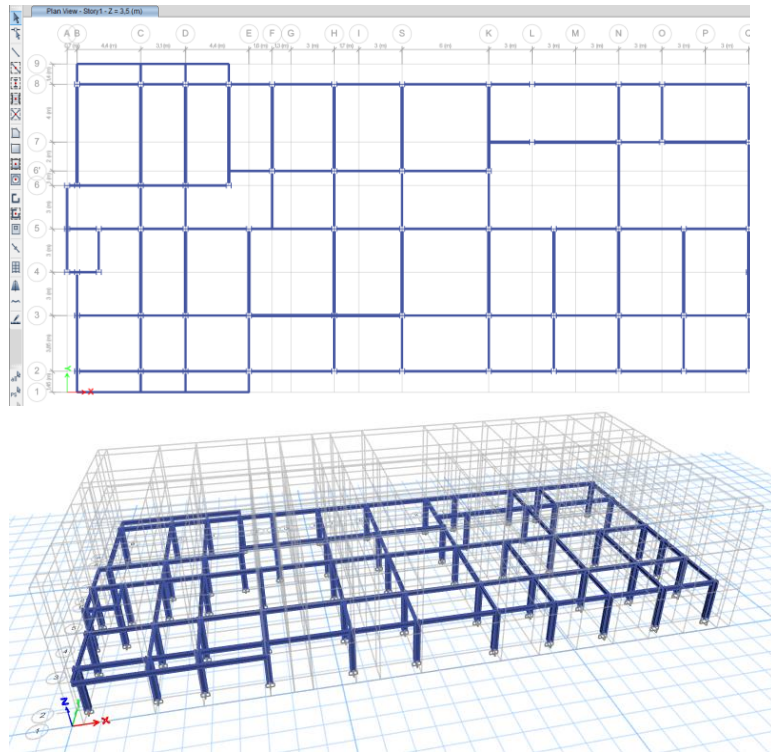
3.2.2.Vigas

En el caso de las vigas se modelaron como elementos tipo frame utilizando perfiles de acero W12x22, w12x26 y W12x30, tomando en cuenta los requerimientos establecidos en el Código Sísmico de Costa Rica (2016), donde se propuso una distribución para los 3 niveles con base al diseño arquitectónico definido.

A las vigas del primer y segundo nivel se les asignó sus debidas cargas gravitacionales con base a la distribución del entrepiso (cargas vivas, peso muerto, sobre carga muerta), y a las vigas del tercer nivel se les asignó las cargas gravitacionales (cargas vivas de techo y sobre carga muerta).

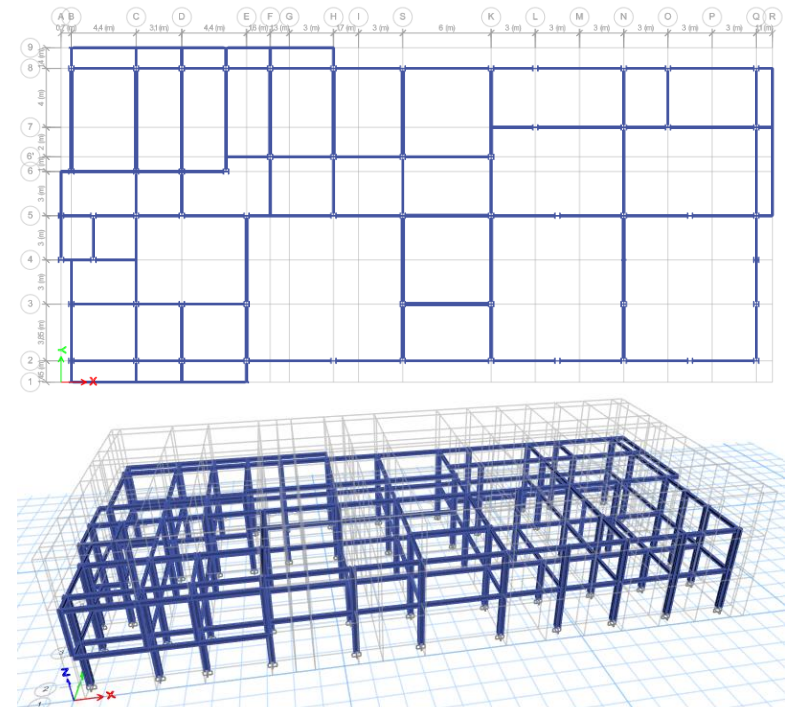
La distribución de vigas para los 3 niveles se estableció de la siguiente manera:

Figura 86. Distribución de vigas estructurales en el Primer Nivel



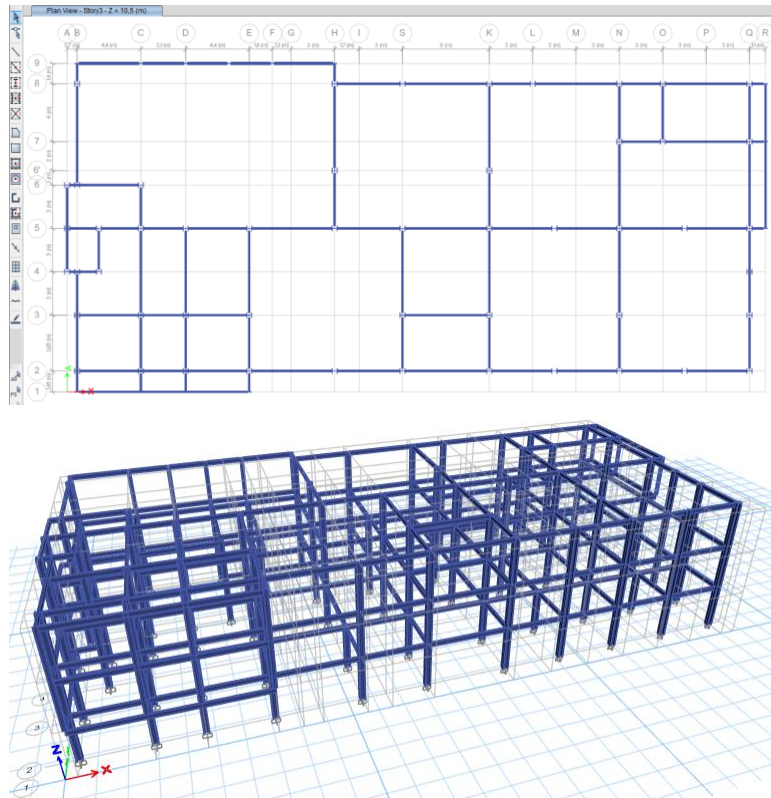
Nota: Se exporta la vista en planta y la vista 3D del modelo estructural elaborado en ETABS

Figura 87. Distribución de vigas estructurales en el Segundo Nivel



Nota: Se exporta la vista en planta y la vista 3D del modelo estructural elaborado en ETABS

Figura 88. Distribución de vigas estructurales en el Tercer Nivel



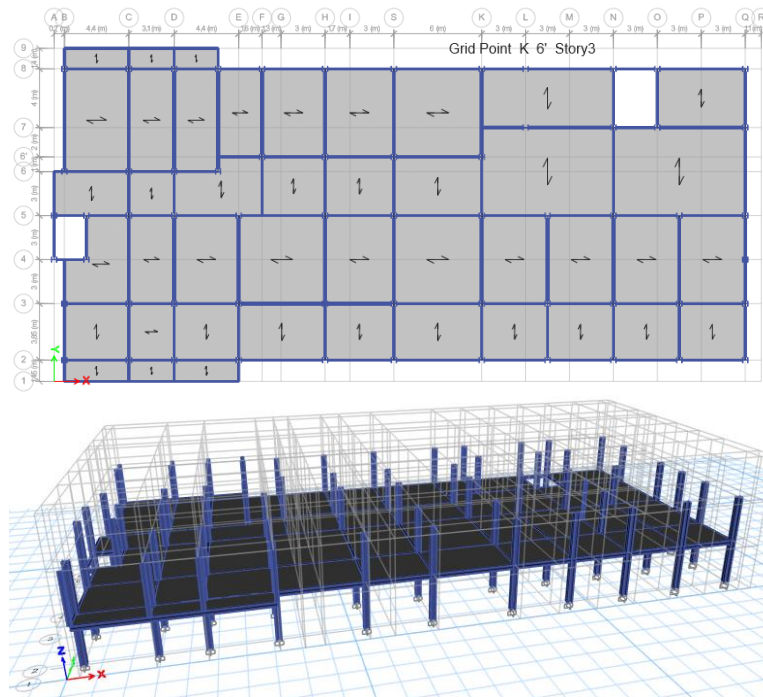
Nota: Se exporta la vista en planta y la vista 3D del modelo estructural elaborado en ETABS

3.2.3. Entrepiso

El sistema de entrepiso se modeló como un elemento de área tipo Shell-Thick, correspondiente a un sistema prefabricado de 15 cm de espesor. Este elemento permite representar de manera adecuada el comportamiento bidireccional del sistema ante las cargas gravitacionales (cargas vivas, peso propio de la estructura y sobre cargas muertas) y sísmicas.

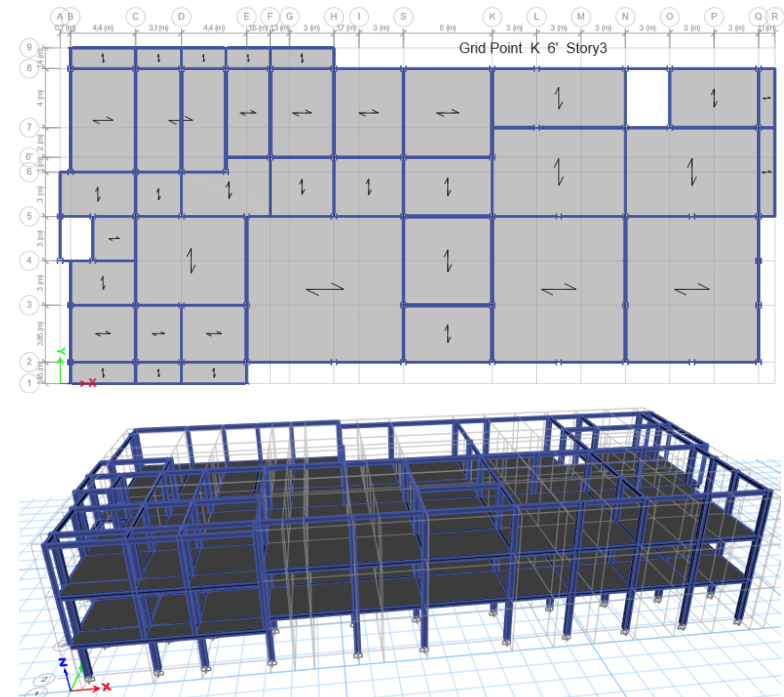
La distribución de cargas en 2 direcciones para los 2 niveles se estableció de la siguiente manera:

Figura 89. Distribución de cargas de entrepiso en el Primer Nivel



Nota: Se exporta la vista en planta y la vista 3D del modelo estructural elaborado en ETABS

Figura 90. Distribución de cargas de entrepiso en el Segundo Nivel



Nota: Se exporta la vista en planta y la vista 3D del modelo estructural elaborado en ETABS

3.3. Análisis de la estructura

Con base a los requerimientos establecidos en el CSCR 2010/14 (CFIA, 2016, p. 6/3), en el análisis estructural se deben considerar las siguientes ecuaciones de solicitaciones sísmicas horizontales:

$$\begin{aligned} CU &= 1,4 \cdot CP \\ CU &= 1,2 \cdot CP + 1,6 \cdot fR \cdot CT + 1,6 \cdot CE \\ CU &= 1,05 \cdot CP + fI \cdot fR \cdot CT \pm CS + CE \\ CU &= 0,95 \cdot CP \pm CS + CE \end{aligned}$$

Donde:

CU: Carga última.
 CP: Carga permanente.
 CT: Carga temporal.
 CS: Carga de sismo.
 CE: Carga de empuje.
 fI: Probabilidad de ocupación.
 fR: Factor de reducción.

Dado que la estructura presenta irregularidades en planta, se aplicaron las combinaciones sísmicas establecidas en el apartado 7.3 del Código Sísmico, el cual menciona que las solicitaciones sísmicas horizontales deben considerarse como la suma vectorial de los efectos en una dirección más el 30% de los efectos en la otra y se debe efectuar este proceso en ambas direcciones CSCR 2010/14 (CFIA, 2016, p. 7/4).

Para el análisis estático se consideró un tipo de suelo S3, ubicado en una Zona Sísmica III, con una aceleración pico efectiva de 0,36. Según el CSCR 2010/14 (CFIA, 2016, p. 4/2) una edificación para actividades educativas con una capacidad mayor que 300 estudiantes se debe considerar como una edificación de ocupación especial por lo que su factor de importancia es igual a 1.

Por sus propiedades geométricas se clasifica como una edificación con un sistema estructural tipo marco con irregularidades en planta y en altura. Entre los parámetros principales a utilizar fueron: la ductilidad global asignada con un valor igual a 2, el periodo fundamental de la estructura 0,36s, una sobre resistencia de 2 y un factor espectral dinámico igual a 1,118 para ambas direcciones.

Con base a estos parámetros se calculó el coeficiente sísmico de la estructura en ambas direcciones como lo establece CSCR 2010/14 (CFIA, 2016) y se asignó cada valor en el programa que al multiplicarlo por el peso total de la edificación para efectos sísmicos se logra obtener la distribución de fuerzas sísmicas de la estructura por nivel y analizar el comportamiento global de la estructura.

3.4. Verificación de resultados

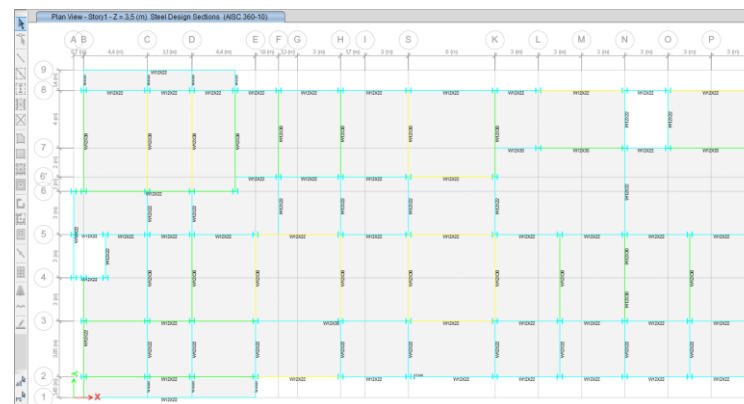
Para la verificación del modelo estructural se utilizó la herramienta de chequeo de elementos estructurales de acero mediante el módulo Steel Frame Design, en la opción Start Design/Check.

Este procedimiento permite evaluar cada uno de los elementos tipo frame del modelo (vigas y columnas) mediante la comparación entre las demandas internas obtenidas del análisis estructural (fuerzas axiales, momentos flectores, cortantes y combinaciones de carga) y la capacidad resistente de los perfiles de acero, de acuerdo con el criterio de diseño seleccionado en el programa.

El módulo realiza automáticamente la revisión de los estados límite últimos, verificando aspectos como resistencia a flexión, compresión, interacción axial-flexión, pandeo global y local, así como los factores de seguridad asociados. El resultado de esta verificación se presenta de forma gráfica mediante un código de colores, donde los elementos que no cumplen con los criterios de diseño se identifican en color rojo.

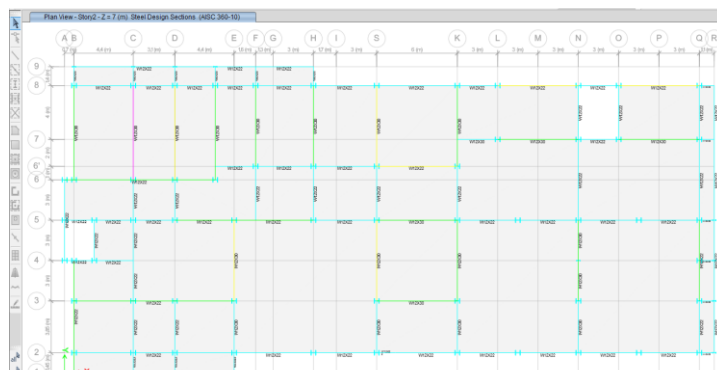
A continuación, se muestran los resultados de la verificación para los elementos frame (Vigas y columnas) en cada uno de los niveles.

Figura 91. Verificación del modelo estructural de las vigas y columnas del Primer Nivel



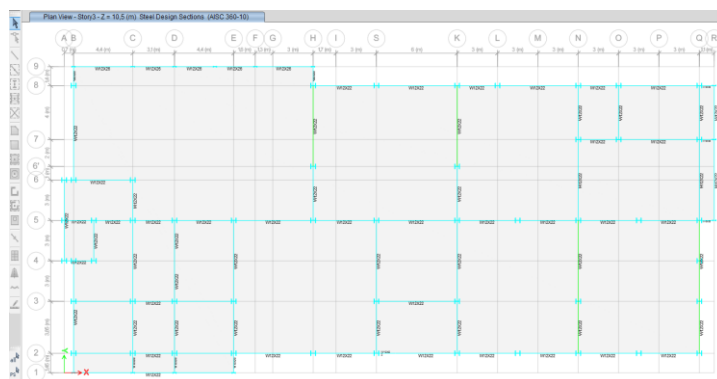
Nota: Se exporta la vista en planta del modelo estructural elaborado en ETABS.

Figura 92. Verificación del modelo estructural de las vigas y columnas del Segundo Nivel



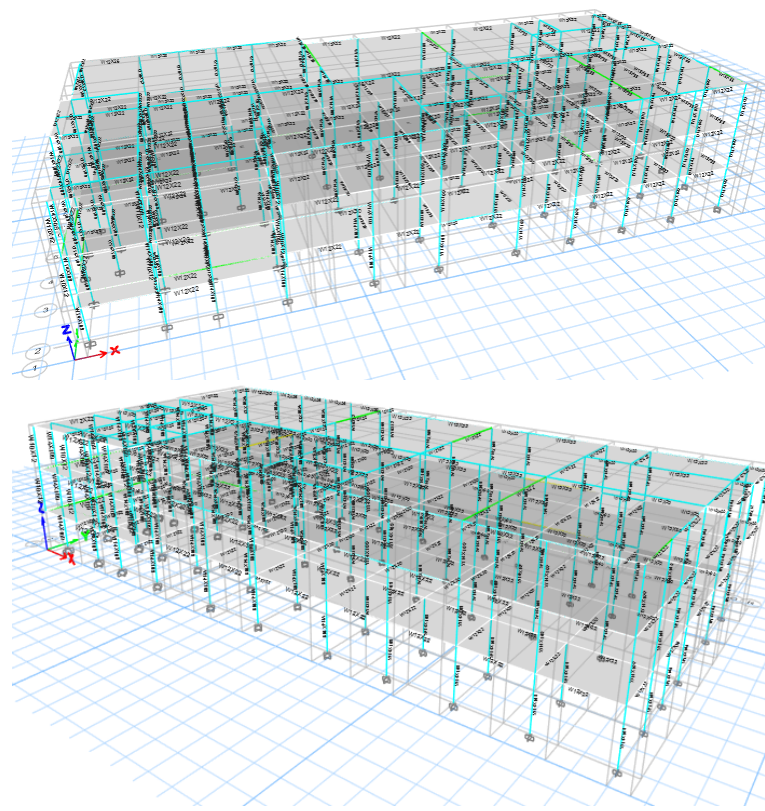
Nota: Se exporta la vista en planta del modelo estructural elaborado en ETABS.

Figura 93. Verificación del modelo estructural de las vigas y columnas del Tercer Nivel



Nota: Se exporta la vista en planta del modelo estructural elaborado en ETABS.

Figura 94. Verificación general del modelo estructural de las vigas y columnas.



Nota: Se exporta la vista en 3D del modelo estructural elaborado en ETABS.

Con base en este método de verificación, se observa que ningún elemento estructural presenta coloración roja, lo que indica que

todos los perfiles modelados cumplen con los requisitos de resistencia establecidos. En consecuencia, se concluye que la estructura cuenta con la capacidad portante suficiente para resistir tanto las cargas gravitacionales como las acciones sísmicas consideradas, garantizando un comportamiento estructural adecuado bajo las combinaciones de carga analizadas.

4. Propuesta integral

4.1. Espacios internos

En este apartado se presentan los principales espacios internos propuestos para el segundo nivel del edificio G5 de la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO). A partir del modelo tridimensional desarrollado en Revit, se muestran diversas vistas interiores que permiten visualizar la configuración espacial, la distribución del mobiliario y la relación funcional entre las distintas áreas académicas, administrativas y de uso común.

- **Recepción**

El espacio de recepción constituye el punto de ingreso y control principal del segundo nivel del edificio.

A partir del modelo tridimensional desarrollado en Revit se observa una configuración espacial abierta que facilita la orientación de los usuarios dentro del edificio y permite una clara

conexión visual hacia las circulaciones principales. La disposición del mobiliario y del mostrador de atención permite una interacción directa entre el personal administrativo y los visitantes, favoreciendo la funcionalidad operativa del espacio.

Este espacio se beneficia de la iluminación natural proveniente de la fachada norte, lo cual reduce la necesidad de iluminación artificial durante gran parte del día.

Figura 95. Vista de la recepción en 3D



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 96. Vista de la recepción en 3D



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Oficina de Dirección**

La oficina de dirección se plantea como un espacio de carácter administrativo con un nivel adecuado de privacidad, pero manteniendo cercanía funcional con los espacios de reunión y gestión académica.

La relación directa con la sala de reuniones contigua permite mejorar la eficiencia operativa del área administrativa, evitando desplazamientos innecesarios dentro del edificio.

Desde el punto de vista ambiental, la ubicación del espacio permite aprovechar iluminación natural controlada, lo que favorece el confort visual y el bienestar del usuario durante las jornadas laborales.

Por otro lado, la ventilación natural está presente con las ventanas superiores que se pueden abrir y cerrar según las necesidades de los usuarios.

Figura 97. Vista de la oficina del Director, con acceso a la sala de reuniones



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Salas de reuniones**

Las salas de reuniones se diseñan como espacios de interacción académica y administrativa, fundamentales para la toma de decisiones y el trabajo colaborativo dentro de la escuela.

El diseño interior prioriza la iluminación natural y la relación visual con el entorno inmediato, generando condiciones adecuadas para la concentración y el trabajo grupal, junto con la ventilación natural que se permite con las ventanas superiores de la fachada norte

Figura 98. Sala de reuniones anexo a la oficina del Director



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 99. Vista de la sala de reuniones



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Aulas**

Las aulas constituyen uno de los espacios académicos principales dentro de la propuesta.

Desde el punto de vista ambiental, las aulas se benefician de la iluminación natural proveniente de las fachadas sur y este del edificio, lo que permite generar ambientes de aprendizaje más

confortables y reducir el consumo energético asociado a iluminación artificial. Asimismo, el diseño del espacio facilita la ventilación natural cruzada, contribuyendo a mejorar la calidad del aire interior.

Figura 100. Vista interior del aula 1



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 101. Vista interior del aula 2



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 102. Vista interior del aula 3



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Laboratorio de cómputo**

El laboratorio de cómputo se diseña como un espacio especializado para el desarrollo de actividades académicas relacionadas con el uso de software técnico y herramientas digitales.

El laboratorio se beneficia de la iluminación natural proveniente de las fachadas sur y este del edificio, lo que permite generar ambientes de aprendizaje más confortables y reducir el consumo energético asociado a iluminación artificial.

Figura 103. Vista interior del laboratorio de cómputo



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Oficinas**

Las oficinas administrativas se proyectan como espacios de trabajo individual o compartido para el personal docente y administrativo de la escuela.

La iluminación natural, la ventilación natural y las vistas hacia el exterior contribuyen a generar espacios de trabajo más confortables y productivos.

Figura 104. Vista interna de una oficina



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 105. Vista interna de una oficina



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Servicios sanitarios**

Los servicios sanitarios se diseñan siguiendo criterios de funcionalidad, higiene y accesibilidad.

El diseño contempla materiales resistentes a la humedad y de fácil mantenimiento, lo cual favorece la durabilidad de las instalaciones.

Figura 106. Vista interna de los baños para mujeres



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 107. Vista interna de los baños para hombres



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Comedor**

El comedor del segundo nivel se concibe como un espacio de descanso y socialización para estudiantes y personal académico, en la figura se evidencia un ambiente amplio que permite la permanencia cómoda de los usuarios durante los periodos de alimentación o descanso.

Desde el punto de vista espacial, el comedor se conecta de manera eficiente con las circulaciones principales del edificio, lo que facilita su acceso desde las aulas y oficinas. Asimismo, la iluminación natural contribuye a generar un ambiente agradable y reduce la dependencia de iluminación artificial.

Figura 108. Vista del comedor en el segundo nivel



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Accesos y circulaciones**

El sistema de circulaciones del segundo nivel se organiza a partir de un pasillo principal que conecta los distintos espacios académicos y administrativos.

La conexión mediante el puente hacia el edificio CIVCO refuerza la integración funcional entre ambas infraestructuras, promoviendo la interacción académica entre las distintas unidades del campus. Asimismo, el núcleo de escaleras central permite una conexión eficiente entre los diferentes niveles del edificio.

Figura 109. Vista desde el puente hacia el pasadizo principal, segundo nivel.



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 110. Vista del núcleo de escaleras



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Salida de emergencia**

La disposición de estas salidas permite cumplir con criterios básicos de evacuación y facilita la conexión con el punto de reunión exterior ubicado en el sector sur del edificio. De esta manera, el diseño contribuye a mejorar las condiciones de seguridad de los usuarios.

Figura 111. Vista hacia salida de emergencia



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

- **Coworking**

El espacio de coworking se plantea como un ambiente flexible destinado al trabajo colaborativo entre estudiantes y docentes. El modelo tridimensional evidencia un diseño interior abierto que

fomenta la interacción social, el intercambio de ideas y el desarrollo de actividades académicas informales.

Figura 112. Vista del coworking



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 113. Vista del coworking

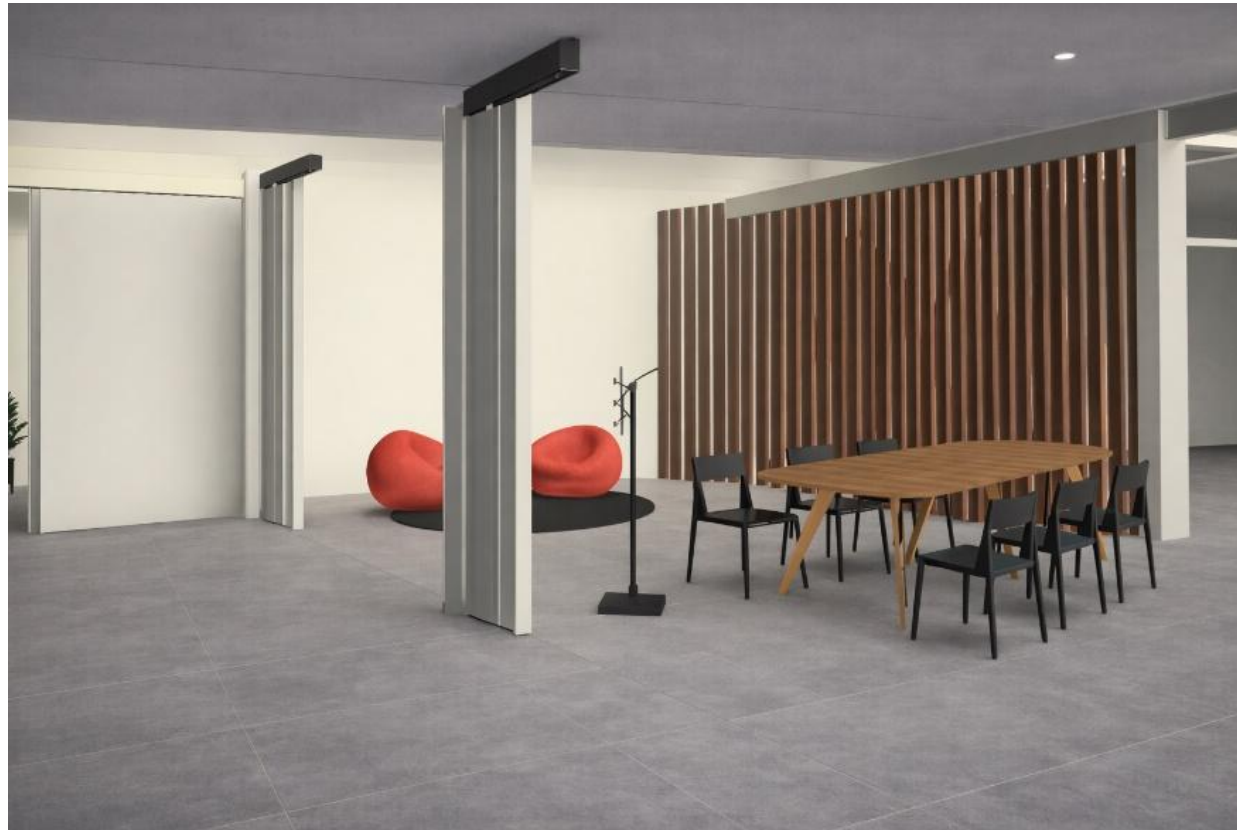


Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Uno de los elementos más relevantes del diseño es la incorporación de paneles móviles, los cuales permiten adaptar el espacio según las necesidades del momento. Cuando los paneles se encuentran abiertos, el área funciona como un espacio amplio

de interacción; mientras que al cerrarse parcial o totalmente permiten generar zonas más privadas para reuniones o trabajo concentrado.

Figura 114. Vista del coworking

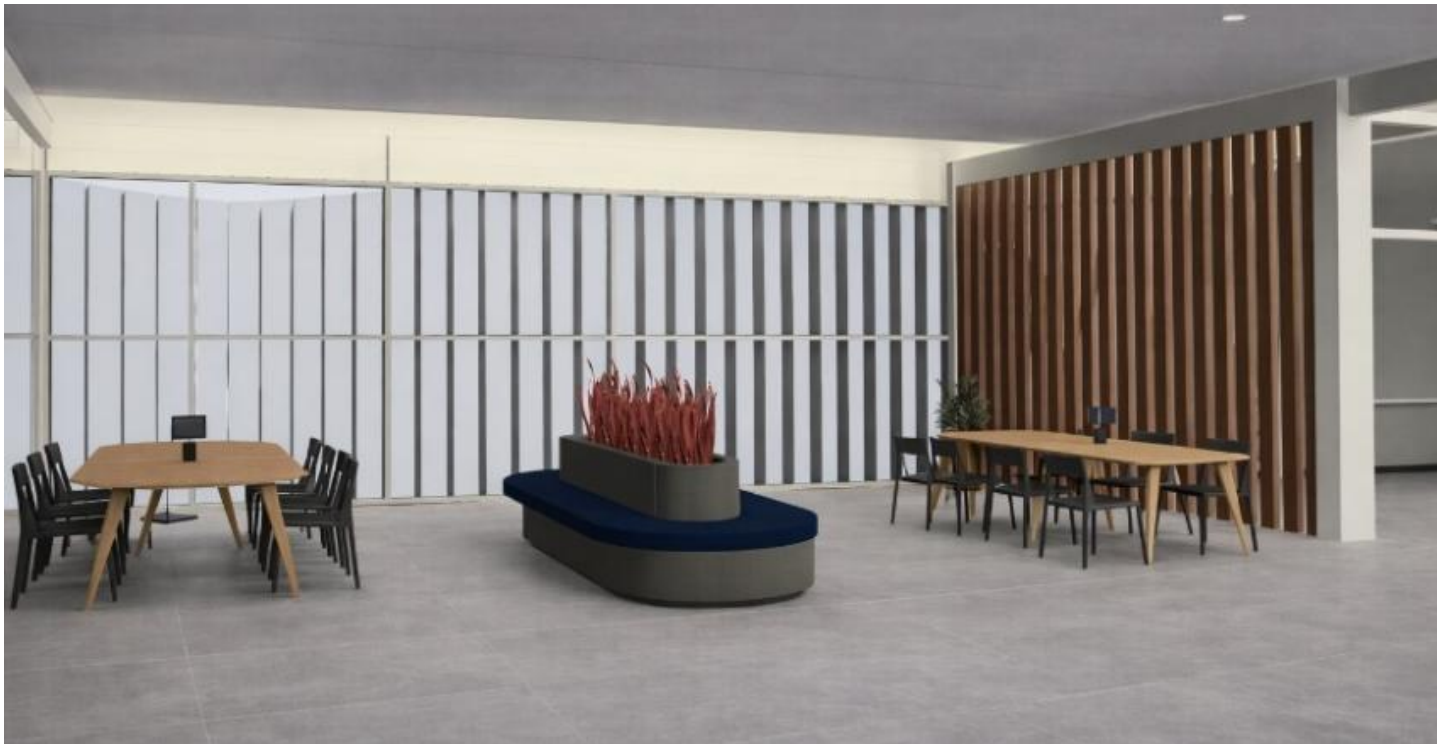


Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT

Esta flexibilidad espacial constituye una estrategia importante dentro del diseño contemporáneo de espacios educativos, ya que permite optimizar el uso del área disponible y adaptarse a diferentes dinámicas académicas.

A continuación se muestra un ejemplo de estos espacios:

Figura 115. Vista del coworking con los paneles móviles cerrados.



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 116. Vista del coworking con paneles movibles parcialmente cerrados.



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 117. Vista del coworking con los paneles movibles abiertos



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

En términos de confort ambiental, el espacio cuenta con iluminación natural proveniente principalmente de la fachada norte del edificio, complementada en menor medida por la iluminación procedente de la fachada sur.

Adicionalmente, el diseño del techo permite la entrada de luz natural hacia el interior del espacio, lo cual contribuye a mejorar las condiciones de iluminación durante el día y a reducir la dependencia de sistemas de iluminación artificial.

De igual manera, el diseño arquitectónico favorece la ventilación natural mediante la incorporación de ventanas superiores ubicadas en las fachadas del edificio. Estas aberturas permiten la renovación del aire interior y facilitan la salida del aire caliente acumulado, generando un efecto de convección natural que mejora la circulación del aire dentro del espacio.

- **Coliving**

El área de coliving se diseña como un espacio de convivencia y descanso destinado a promover la interacción entre los estudiantes. El modelo tridimensional evidencia un ambiente acogedor que combina zonas de descanso, socialización y estudio informal.

Figura 118. Vista del coliving



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

La incorporación de mobiliario flexible y espacios abiertos permite generar un entorno dinámico que favorece la permanencia de los usuarios dentro del edificio. Este tipo de espacios

Figura 119. Vista del coliving

contribuye a fortalecer la vida académica y social de la comunidad universitaria, promoviendo el trabajo colaborativo y la integración entre estudiantes de distintas áreas.



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

Figura 120. Vista del coliving



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de ChatGPT.

4.2. Espacios externos

En este apartado se presentan las vistas externas de la propuesta arquitectónica del edificio, las cuales permiten visualizar la integración del diseño con el entorno y comprender la volumetría, la composición de las fachadas y los elementos arquitectónicos que conforman la edificación.

En la vista exterior desde el costado sureste se observa el puente de conexión que articula el edificio con el Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO). Este elemento constituye una pieza clave dentro de la propuesta, ya que permite mejorar la conectividad funcional entre ambas infraestructuras académicas.

El puente facilita la movilidad de estudiantes, docentes e investigadores entre ambos edificios, promoviendo una mayor integración académica y optimizando las circulaciones dentro del campus.

Figura 121. Vista exterior con puente que conecta al CIVCO, costado sureste



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de Canva.

La vista desde el costado noroeste permite apreciar la composición general del volumen arquitectónico y la relación entre las fachadas y los elementos de protección solar incorporados en el diseño. Estos elementos contribuyen a mejorar el desempeño bioclimático del edificio, permitiendo controlar la incidencia directa de la

radiación solar y favoreciendo condiciones adecuadas de confort térmico en los espacios interiores permitiendo el ingreso y salida de la ventilación natural.

Figura 122. Vista exterior desde el costado noroeste



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de Canva.

La vista exterior desde el costado norte permite analizar la fachada que recibe una mayor cantidad de iluminación natural durante el día. Esta orientación resulta favorable desde el punto de vista bioclimático, ya que permite aprovechar la luz natural de forma

más uniforme y controlada, reduciendo la necesidad de iluminación artificial en los espacios interiores.

Además, la configuración de las ventanas y los elementos arquitectónicos permite mantener una relación visual con el entorno inmediato del campus.

Figura 123. Vista exterior desde el costado norte



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de Canva.

Finalmente, la vista desde el costado suroeste permite observar la continuidad volumétrica del edificio y la manera en que el diseño se integra con el contexto urbano y paisajístico circundante. En esta fachada se evidencia el equilibrio entre los elementos macizos

y las aperturas, lo cual contribuye tanto al control de la radiación solar como a la ventilación natural de los espacios interiores.

También se observa el núcleo de escaleras de emergencia que conecta directamente con el punto de reunión más cercano al edificio.

Figura 124. Vista exterior desde el costado suroeste



Nota: Se exporta el render de Revit Autodesk y se ajustan detalles visuales por medio de Canva.

Un aspecto relevante del diseño es la integración arquitectónica entre los tres módulos principales: el edificio G5 existente, el edificio del CIVCO y la nueva propuesta para la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO).

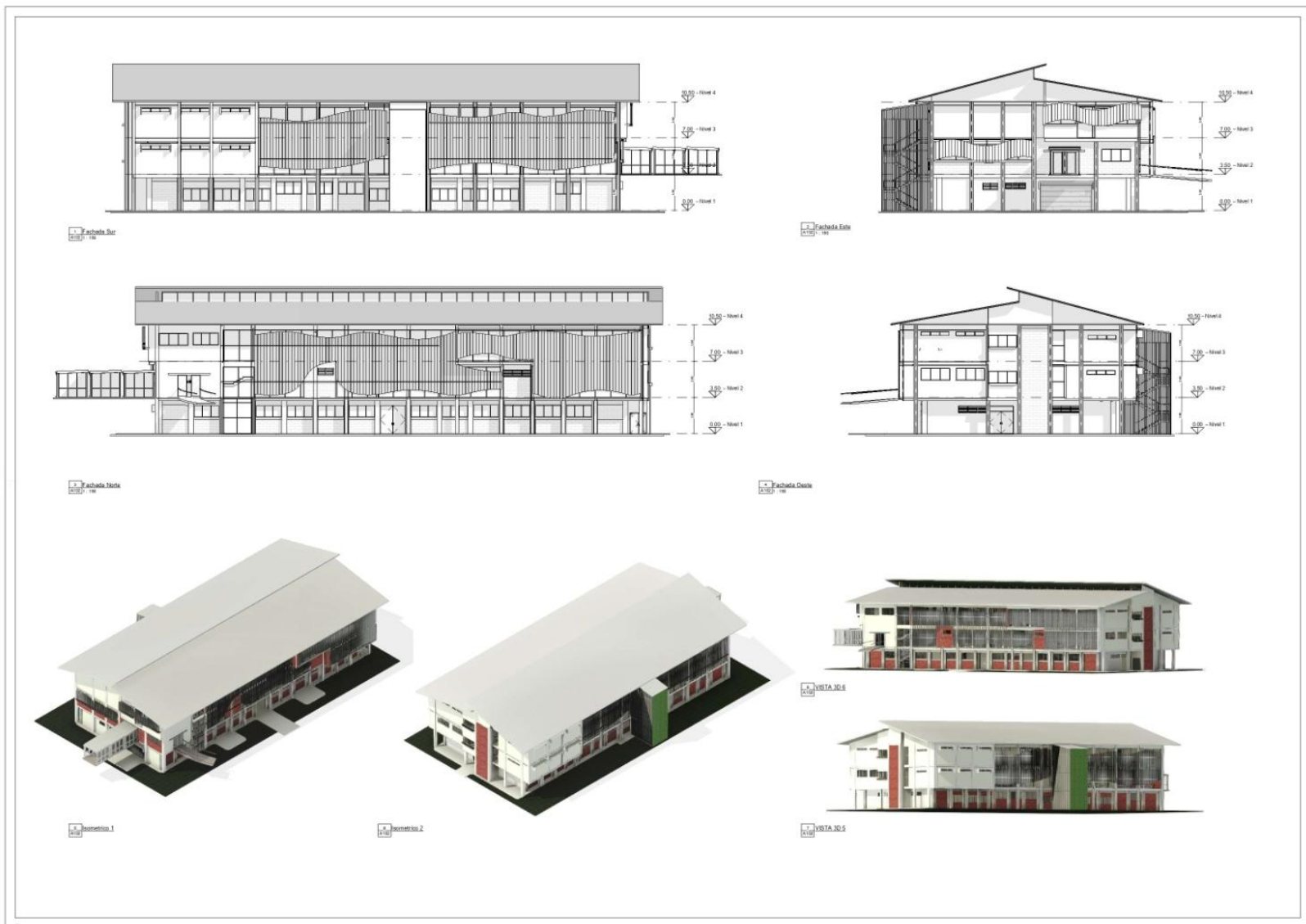
Tanto el G5 como el CIVCO presentan fachadas construidas en ladrillo, elemento que forma parte del lenguaje arquitectónico original del conjunto y que representa un valor histórico dentro del campus.

En la propuesta planteada se busca mantener esta identidad arquitectónica mediante la continuidad del material predominante, permitiendo que el nuevo volumen se integre visual y conceptualmente con las edificaciones existentes. De esta manera, el uso del ladrillo en las fachadas contribuye a generar una lectura arquitectónica unificada entre los tres módulos, dando la percepción de un solo conjunto edilicio articulado.

De esta manera, el proyecto logra un equilibrio entre la preservación de la identidad arquitectónica existente y la incorporación de nuevas soluciones espaciales y ambientales, permitiendo que el conjunto G5–CIVCO–EICO se consolide como un solo edificio integrado que responde a las necesidades actuales de la comunidad académica.

5. Planos constructivos

En el presente apartado se incluyen los planos constructivos del proyecto, los cuales representan de manera técnica y detallada la propuesta arquitectónica desarrollada para el edificio. Estos planos permiten visualizar la distribución espacial, las dimensiones, los elementos constructivos y las características principales del diseño planteado. A través de plantas, cortes, fachadas y detalles constructivos se describe la configuración del edificio y su funcionamiento, proporcionando la información necesaria para comprender la materialización de la propuesta arquitectónica planteada en el proyecto.



Factibilidad de implementación

La factibilidad de implementación de la propuesta de ampliación y remodelación sostenible del edificio G5 como la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO) del Instituto Tecnológico de Costa Rica se analiza desde tres dimensiones principales: factibilidad institucional, factibilidad técnica y factibilidad económica.

Este análisis permite determinar si la propuesta planteada puede ejecutarse dentro de las condiciones reales del campus universitario, considerando tanto las necesidades actuales de infraestructura educativa como la disponibilidad de recursos financieros para su desarrollo.

La ampliación del edificio G5 se enmarca en las directrices del Plan Maestro del Campus Tecnológico Central Cartago 2020-2035, el cual plantea la densificación vertical de edificaciones existentes como estrategia para optimizar el uso del suelo universitario y evitar la expansión horizontal innecesaria del campus. En este plan se identifica específicamente la ampliación

sobre la misma huella del edificio G5 como una oportunidad de crecimiento institucional.

De esta manera, la propuesta presentada no surge como una intervención aislada, sino como una respuesta directa a una planificación institucional previamente definida, lo cual fortalece su viabilidad desde el punto de vista administrativo y estratégico.

1. Necesidad institucional del proyecto

La Escuela de Ingeniería en Construcción enfrenta actualmente limitaciones significativas en cuanto a disponibilidad de espacios académicos, administrativos y de interacción estudiantil. La infraestructura existente presenta deficiencias relacionadas con ventilación natural, iluminación diurna, flexibilidad espacial y disponibilidad de áreas colaborativas, lo que afecta el confort ambiental y el desempeño académico de estudiantes y docentes.

En este contexto, la ampliación del edificio G5 permitiría integrar nuevas aulas, oficinas, laboratorios de computación y espacios de

coworking y coliving, fortaleciendo la interacción académica y la investigación aplicada.

A nivel nacional, diversos estudios señalan que la modernización de la infraestructura universitaria constituye un factor clave para mejorar la calidad educativa y la competitividad académica de las instituciones de educación superior. Asimismo, el Consejo Nacional de Rectores (CONARE) ha identificado la mejora de los ambientes de aprendizaje como una prioridad estratégica para el desarrollo del sistema universitario costarricense.

Por lo tanto, la ampliación del edificio G5 responde tanto a necesidades institucionales inmediatas como a políticas nacionales orientadas al fortalecimiento de la educación superior.

Condiciones actuales de la infraestructura y desafíos para una intervención sostenible

Los resultados obtenidos mediante la encuesta aplicada a estudiantes, docentes y personal administrativo evidencian que la infraestructura actual de la Escuela de Ingeniería en Construcción presenta limitaciones significativas en términos de confort ambiental, funcionalidad espacial y adaptación a las dinámicas contemporáneas de enseñanza-aprendizaje. Entre los aspectos con mayor valoración negativa destacan la ventilación natural,

accesibilidad, iluminación, confort acústico y disponibilidad de espacios para permanencia e interacción estudiantil.

En cuanto a iluminación natural, el 60% de los encuestados calificó las condiciones actuales como regulares, mientras que un 30% las consideró deficientes o muy deficientes. Esto evidencia limitaciones en el aprovechamiento de luz natural y una alta dependencia de iluminación artificial dentro de aulas y oficinas.

Respecto a ventilación y confort ambiental, el 50% de los participantes indicó condiciones deficientes o muy deficientes, mientras únicamente un 15% las calificó como buenas. Estos resultados reflejan problemas asociados a ventilación cruzada insuficiente y acumulación de calor en determinados espacios académicos.

El confort acústico presentó una de las valoraciones más críticas, ya que el 50% de los encuestados lo calificó como deficiente, señalando dificultades para el adecuado desarrollo de actividades académicas y administrativas. Asimismo, los espacios para estudiantes mostraron resultados predominantemente negativos: el 40% los calificó como deficientes y el 50% como regulares, evidenciando la carencia de zonas de estudio, convivencia e interacción académica.

Estas condiciones evidencian una brecha entre la infraestructura actual y las necesidades contemporáneas de la educación superior. Asimismo, los modelos educativos actuales promueven espacios

más flexibles y dinámicos, donde el aprendizaje activo y el trabajo colaborativo adquieren un papel central. En este contexto, los espacios de coworking, áreas colaborativas y zonas flexibles dejan de ser elementos complementarios y pasan a convertirse en componentes necesarios dentro de la infraestructura universitaria contemporánea, ya que favorecen el intercambio de conocimientos, la interacción interdisciplinaria y el aprendizaje colaborativo.

De igual manera, las deficiencias identificadas permiten evidenciar una necesidad institucional más amplia relacionada con el fortalecimiento de criterios de sostenibilidad dentro del desarrollo futuro de infraestructura universitaria. Si bien el Plan Maestro del Campus Tecnológico Central Cartago 2020–2035 constituye un instrumento fundamental para normar el crecimiento urbano, el ordenamiento espacial y la protección del entorno natural del campus, el documento no desarrolla de manera explícita lineamientos específicos asociados al diseño arquitectónico sostenible, desempeño ambiental de edificaciones, eficiencia energética o criterios bioclimáticos aplicables a futuras ampliaciones y remodelaciones.

En este sentido, el Plan Maestro establece principalmente directrices relacionadas con uso de suelo, movilidad, conservación ambiental, densificación y organización territorial; sin embargo, existe una oportunidad de fortalecer futuras

intervenciones institucionales mediante la incorporación de criterios técnicos más específicos orientados a infraestructura sostenible, confort ambiental y resiliencia climática. Esta situación resulta relevante considerando que gran parte de las edificaciones universitarias existentes fueron concebidas bajo modelos funcionales tradicionales que no necesariamente responden a las condiciones climáticas actuales ni a las nuevas dinámicas pedagógicas de la educación superior.

Asimismo, las limitaciones identificadas en ventilación, iluminación natural, flexibilidad espacial y confort evidencian cómo la ausencia de estrategias pasivas de diseño puede impactar directamente el bienestar, permanencia y desempeño académico de los usuarios, además de incrementar la dependencia energética de los edificios. Esto demuestra la necesidad de que las futuras intervenciones universitarias incorporen criterios de sostenibilidad desde etapas tempranas de planificación y diseño arquitectónico.

En este contexto, el presente trabajo busca aportar una visión complementaria al desarrollo institucional del campus, demostrando cómo una propuesta arquitectónica basada en principios bioclimáticos, estrategias pasivas y reorganización funcional puede contribuir a mejorar las condiciones ambientales y espaciales de la infraestructura universitaria existente.

De igual manera, la investigación evidencia el aporte que puede generar la Maestría en Diseño y Construcción Sostenible dentro del ITCR, al desarrollar propuestas académicas orientadas a integrar sostenibilidad, arquitectura y planificación institucional desde una perspectiva aplicada. Esto permite fortalecer la discusión sobre infraestructura universitaria sostenible dentro del contexto nacional y generar criterios técnicos que puedan servir de referencia para futuras ampliaciones, remodelaciones y procesos de planificación física dentro de los campus universitarios.

2. Factibilidad técnica

Desde el punto de vista técnico, la propuesta resulta viable debido a varias condiciones favorables del sitio y de la infraestructura existente.

En primer lugar, el edificio G5 se ubica en un terreno con condiciones topográficas relativamente planas, lo que reduce la necesidad de movimientos de tierra significativos durante la construcción. Asimismo, la intervención planteada consiste en una ampliación vertical sobre la huella existente del edificio, lo cual optimiza el uso del suelo disponible dentro del campus universitario.

La estrategia estructural propuesta se basa en la incorporación de una estructura reforzada que permita soportar los nuevos niveles sin comprometer la estabilidad del edificio existente.

Mediante el análisis estructural del sistema propuesto, basado en marcos rígidos de acero estructural, se evidencia la viabilidad técnica de la ampliación del edificio, ya que los resultados obtenidos permiten verificar que el sistema estructural planteado cumple con los criterios de estabilidad, resistencia y comportamiento estructural requeridos para la incorporación de los nuevos niveles, constituyendo una solución constructiva adecuada para la intervención sobre la edificación existente.

Asimismo, el proyecto incorpora estrategias de diseño sostenible que reducen la demanda energética y mejoran el desempeño ambiental del edificio, tales como:

- Ventilación cruzada natural.
- Aprovechamiento de iluminación natural.
- Implementación de paneles solares fotovoltaicos.
- Sistemas de recolección de agua pluvial.
- Control solar mediante parasoles arquitectónicos.

Estas estrategias no solo mejoran el confort ambiental del edificio, sino que también reducen los costos operativos a largo plazo, lo cual incrementa la viabilidad técnica del proyecto.

3. Estimación preliminar de costos de construcción

Se elabora un presupuesto preliminar para la ampliación del segundo y tercer nivel del edificio G5, considerando un área aproximada de 1.100 m² por planta y una cubierta de 1.400 m². La estimación se fundamentó en el sistema constructivo propuesto para el proyecto, basado en marcos rígidos de acero estructural con losas de concreto livianas, apoyados en cimientos internos puntuales, de forma que la intervención sobre el edificio existente fuera mínima.

Bajo este criterio, se contemplaron las partidas principales de obras preliminares, refuerzos y cimentaciones puntuales, estructura metálica, losas, cubierta, fachadas, divisiones internas, acabados, instalaciones electromecánicas, sistemas contra incendio e integración con la edificación existente.

Cuadro 20. Presupuesto estimado

Partida	Subtotal (C)
Cimientos puntuales y refuerzos estructurales	¢114 400 000,00
Estructura metálica principal	¢330 000 000,00
Losa concreto	¢154 000 000,00
Cubierta/techo (estructura liviana + cubierta)	¢154 000 000,00
Fachadas, ventanería y parasoles	¢198 000 000,00
Divisiones internas, puertas, cielos rasos y acabados	¢220 000 000,00
Instalaciones electromecánicas	¢198 000 000,00
Sistema contra incendios y evacuación	¢55 000 000,00
Total	¢1 423 400 000,00

El presente presupuesto corresponde a una estimación paramétrica basada en áreas preliminares y en el sistema constructivo propuesto. No sustituye un presupuesto detallado de obra elaborado a partir de planos constructivos, especificaciones técnicas y cantidades definitivas.

A partir del presupuesto preliminar elaborado para la ampliación del segundo y tercer nivel del edificio G5, se estima un costo total aproximado de ¢1 423 400 000 para una intervención que contempla un área total aproximada de 1 913 m² de construcción,

correspondiente a la ampliación de los niveles superiores del edificio y su respectiva cubierta.

A partir de estos valores, el costo unitario estimado del proyecto corresponde aproximadamente a ₡744 000 por metro cuadrado construido. Este valor se encuentra dentro de rangos razonables para edificaciones institucionales en Costa Rica que incorporan estructura metálica, sistemas electromecánicos completos, fachadas con ventanería y elementos de control solar, así como acabados interiores propios de espacios educativos y administrativos.

En términos generales, el análisis realizado permite concluir que la ampliación del edificio G5 presenta una viabilidad económica preliminar, ya que el costo estimado se mantiene dentro de rangos razonables para proyectos universitarios de características similares y el sistema constructivo propuesto permite optimizar la intervención sobre la infraestructura existente. No obstante, para confirmar plenamente la viabilidad financiera del proyecto será necesario, en etapas posteriores, desarrollar planos constructivos detallados, un presupuesto basado en cantidades de obra y un cronograma de ejecución, así como evaluar las fuentes de financiamiento institucional disponibles y su compatibilidad con las restricciones fiscales vigentes.

Justificación de la inversión

La inversión en este proyecto se justifica no solo por el déficit actual de espacio, sino por los beneficios acumulados que genera en el tiempo.

La propuesta mejora las condiciones de confort térmico, iluminación natural, accesibilidad y organización funcional del edificio; además, fortalece la identidad académica de la EICO y responde a las tendencias contemporáneas de educación superior, donde los espacios flexibles, colaborativos y sostenibles son determinantes para la calidad del proceso educativo.

Adicionalmente, la incorporación de sistemas fotovoltaicos y de recolección de agua pluvial, aunque incrementa la inversión inicial, contribuye a reducir costos operativos y refuerza la coherencia del proyecto con la visión ambiental del ITCR.

El documento base ya plantea que la sostenibilidad en las edificaciones universitarias no debe entenderse como un gasto adicional, sino como una inversión estratégica que multiplica beneficios durante el ciclo de vida del edificio.

4. Factibilidad ambiental

Uno de los elementos más relevantes que respaldan la viabilidad de la propuesta de ampliación y remodelación del edificio G5 de la Escuela de Ingeniería en Construcción es su factibilidad ambiental, la cual se fundamenta en la integración de estrategias de diseño sostenible, eficiencia energética, gestión responsable del agua y reducción del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del edificio.

La sostenibilidad ambiental constituye actualmente uno de los pilares fundamentales en la planificación de la infraestructura universitaria a nivel global, lo que convierte a la arquitectura sostenible en una herramienta clave para mitigar el cambio climático y mejorar la calidad ambiental de los espacios construidos.

En este contexto, las universidades tienen un papel estratégico, ya que sus campus pueden funcionar como laboratorios vivos de sostenibilidad, donde la infraestructura no solo responde a necesidades funcionales, sino que también se convierte en un instrumento pedagógico y demostrativo para estudiantes y la sociedad.

La propuesta de ampliación del edificio G5 se alinea con este enfoque al incorporar desde su concepción un conjunto de estrategias pasivas y activas orientadas a mejorar el desempeño

ambiental del edificio, reducir el consumo de recursos y generar un entorno educativo saludable.

El análisis realizado sugiere que la ampliación y remodelación del edificio G5 presenta una alta factibilidad ambiental, debido a la integración coherente de estrategias de diseño bioclimático, tecnologías de eficiencia energética y sistemas de gestión sostenible del agua.

La propuesta no solo reduce el impacto ambiental asociado a la construcción y operación del edificio, sino que también contribuye a fortalecer la visión institucional del ITCR como un campus comprometido con la sostenibilidad, la innovación y la responsabilidad ambiental.

En este sentido, parece ser que la factibilidad ambiental del proyecto se consolida como uno de los argumentos más sólidos que respaldan su implementación, ya que demuestra que la infraestructura universitaria puede evolucionar hacia modelos más eficientes, resilientes y respetuosos con el entorno natural, generando beneficios ambientales, sociales y económicos a largo plazo.

Conclusiones

- Se evidenció que la ampliación vertical del edificio G5 representa una alternativa coherente con los procesos de reorganización y aprovechamiento de infraestructura existente dentro del campus universitario, permitiendo reducir la necesidad de expansión sobre nuevas áreas del terreno y favoreciendo estrategias de densificación de la infraestructura académica.
- Se establecieron las relaciones funcionales, espaciales y de uso necesarias para responder a las actividades académicas, administrativas y de convivencia identificadas dentro de la Escuela de Ingeniería en Construcción. Asimismo, se evidenció la necesidad de incorporar espacios más flexibles y colaborativos acordes con metodologías contemporáneas de aprendizaje activo e interacción académica.
- Se evidenció, mediante el análisis bioclimático, que las principales condicionantes ambientales del sitio corresponden a radiación solar en fachadas oeste y suroeste, limitaciones de ventilación natural y condiciones de humedad elevadas. A partir de ello, se estableció que las estrategias pasivas incorporadas en la propuesta responden directamente a las problemáticas ambientales identificadas en el sitio.
- Se evidenció preliminarmente la viabilidad conceptual de la ampliación propuesta mediante el modelo estructural desarrollado. Sin embargo, también se estableció la necesidad de realizar estudios posteriores de optimización estructural que permitan reducir posibles afectaciones espaciales y mejorar la integración entre la propuesta nueva y el edificio existente.
- Se evidenció que las necesidades actuales de la Escuela de Ingeniería en Construcción trascienden la simple incorporación de más área construida, ya que aspectos como confort ambiental, accesibilidad, flexibilidad espacial y calidad de los espacios de interacción influyen directamente sobre las dinámicas de enseñanza,

aprendizaje y permanencia universitaria.

- Dentro del alcance del anteproyecto arquitectónico, la sostenibilidad se aborda principalmente mediante estrategias pasivas de diseño adaptadas al contexto climático local. Esto permitió evidenciar que decisiones relacionadas con orientación, ventilación natural, iluminación y control solar pueden contribuir significativamente al mejoramiento ambiental de la infraestructura educativa.
- Se evidenció que las condiciones actuales de la infraestructura de la Escuela presentan limitaciones importantes relacionadas con ventilación, iluminación natural, confort acústico y disponibilidad de espacios colaborativos, generando una brecha entre la infraestructura existente y las necesidades contemporáneas de la educación superior.
- Se estableció que la materialización futura de la propuesta requerirá estudios complementarios de carácter estructural, electromecánico, constructivo y financiero. No obstante, la investigación aporta una base arquitectónica, ambiental y conceptual que puede orientar futuras etapas de diseño y toma de decisiones institucionales relacionadas con infraestructura educativa dentro del ITCR.

Recomendaciones

- A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación y considerando que el alcance del proyecto corresponde al desarrollo de un anteproyecto arquitectónico, se recomienda que en futuras etapas de desarrollo se profundice en los estudios técnicos necesarios para validar integralmente la viabilidad constructiva de la propuesta. En particular, será necesario desarrollar análisis estructurales detallados que permitan determinar la capacidad del edificio existente para soportar la ampliación propuesta.
- Realizar estudios especializados en ingeniería electromecánica que permitan integrar adecuadamente los sistemas de instalaciones del edificio existente con los nuevos espacios proyectados. Estos estudios deberán considerar criterios de eficiencia energética, optimización del consumo de agua y compatibilidad con los sistemas existentes del campus, con el fin de garantizar un funcionamiento eficiente y sostenible de la infraestructura propuesta.
- Profundizar en la evaluación del desempeño ambiental del proyecto mediante herramientas de simulación más avanzadas que permitan cuantificar con mayor precisión el impacto de las estrategias bioclimáticas planteadas. Simulaciones de iluminación natural, ventilación natural, comportamiento térmico y consumo energético permitirían validar y optimizar las decisiones de diseño adoptadas en el anteproyecto, fortaleciendo el sustento técnico del proyecto en etapas posteriores de desarrollo.

- Se sugiere que el proyecto sea analizado desde una perspectiva de factibilidad económica más detallada, incorporando estimaciones preliminares de costos de construcción, etapas de ejecución y posibles esquemas de financiamiento institucional. Este análisis permitiría determinar la viabilidad real de la intervención dentro de los planes de inversión del Instituto Tecnológico de Costa Rica y facilitar la toma de decisiones estratégicas para su eventual implementación.
- Fortalecer en las siguientes fases la participación de los usuarios finales del edificio, incluyendo estudiantes, docentes y personal administrativo de la Escuela de Ingeniería en Construcción. La incorporación de procesos participativos permitiría validar la funcionalidad de los espacios propuestos, ajustar el programa arquitectónico según necesidades reales de uso y mejorar la apropiación institucional del proyecto.
- Se recomienda a futuros procesos de investigación institucional ampliar la muestra de usuarios participantes en instrumentos de consulta y diagnóstico, incorporando una mayor representación de personal administrativo y otros

actores vinculados al funcionamiento de la Escuela. Esto permitiría obtener resultados más integrales y representativos sobre las necesidades reales de infraestructura y funcionamiento espacial de la unidad académica.

- Se recomienda a la Maestría en Diseño y Construcción Sostenible continuar promoviendo investigaciones aplicadas orientadas a infraestructura universitaria sostenible, ya que este tipo de proyectos permite generar criterios técnicos, ambientales y arquitectónicos que pueden contribuir al fortalecimiento de futuras políticas institucionales de planificación y desarrollo físico del campus.
- Se recomienda al Instituto Tecnológico de Costa Rica incorporar criterios de sostenibilidad constructiva dentro de los términos de referencia, especificaciones técnicas y condiciones de contratación de futuras licitaciones asociadas al proyecto. Esto permitirá garantizar que las estrategias de sostenibilidad planteadas en la fase de diseño se mantengan durante la etapa de construcción, mediante la implementación de medidas relacionadas con la gestión de residuos, selección responsable de materiales, eficiencia en el uso de recursos y minimización de impactos ambientales generados por la ejecución de las obras.

Referencias bibliográficas

- Alán Neill, D. y Cortez Suárez, L. (2018) Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica. Editorial UTMACH C
<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>
- Aluminios Valle (2025) Beneficios del aluminio en la construcción: Durabilidad y eficiencia energética.
<https://aluminiosvalle.com/beneficios-del-aluminio-en-la-construccion-durabilidad-y-eficiencia-energetica/>
- Arce, E., Fernández, D., Herrera, M., Rodríguez, S., Vásquez, A., Vega, C. (2012) Guía de estrategias pasivas de diseño bioclimático.
<https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/ba0ffd92-d0b8-47b4-927c-70e29b44312b/full>
- ArchDaily (18 de julio 2019) Escuela infantil Altzaga / azab.
<https://www.archdaily.cl/cl/921361/escuela-infantil-altzaga-azab>
- ArchDaily (15 de abril 2015) Cordoba-ReUrbano / Cadaval & Solà-Morales.
<https://www.archdaily.cl/cl/765355/cordoba-reurbano-cadaval-and-sola-morales>
- Arquitectura Sostenible (21 de agosto, 2023) La madera: un básico en el mundo de la construcción sostenible.
<https://arquitectura-sostenible.es/madera-construccion-sostenible/>
- Arquitectura Sostenible. (25 de noviembre, 2024). La importancia de la Declaración Ambiental de Producto en la construcción sostenible. <https://arquitectura-sostenible.es/declaracion-ambiental-producto/>
- Ávalos, A. (1 de marzo, 2022) Arranca reforzamiento de edificio central de CCSS, que se prolongará hasta el 2023.
<https://www.nacion.com/el-pais/salud/arranca-reforzamiento-de-edificio-central-de-ccss/H2N777UPRBAWXMUEB7GFCWL32Q/story/>
- Babitharani, H., Bharath A., Teresa, N., Sneha, P. (Julio 2019) Use of High Performance Glass as: A Sustainable Building Material.

- Bastero Martínez, B. (Junio 2025) Arquitectura Bioclimática en España: Teoría, análisis y aplicación práctica. [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid] <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/77074/TF-G-A-403.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Burgos, N. (23 agosto 2019) Escuela de lenguas Modernas inicia construcción de edificio anexo. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/8/23/escuela-de-lenguas-modernas-inicia-construccion-de-edificio-anexo.html>
- Caja Costarricense de Seguro Social (s.f.) Reforzamos el Laureano Echandi Vicente por su seguridad y la nuestra. <https://www.ccss.sa.cr/web/traslado/informacion>
- Campos, S. (19 de diciembre, 2024) Transformación Invencible: Reforzamiento Estructural con Fibra de Carbono. <https://peritosdeobra.com.mx/reforzamiento-estructural-con-fibra-de-carbon/>
- Canal Marco Avalos Dittel (3 de noviembre, 2023) Reforzamiento estructural del edificio CCSS con fibras de carbono - Empresa Aplitec. [Archivo de video] Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=EuT5UKmSGxc>
- Cascante, A. y Estrada, A (2001) Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. <https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/volumes/vol149-1/24-Cascante-Composici%C3%B3n-211-224.pdf>
- Chaves, A., Cárdenas, H., Castro, J., Olivas, C., Gómez, Y. (2023) Los planes de estudio de las carreras de formación docente que imparten las universidades públicas y privadas y su coherencia con las políticas educativas en Costa Rica. <https://www.redalyc.org/journal/447/44774872010/html/>
- Chinchilla, N. (19 de junio 2024) Centro Académico de Alajuela contará con nuevo edificio. <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2024/06/19/centro-academico-alajuela-contara-nuevo-edificio>
- Comisión Especial (2011) Plan de Infraestructura 2011-2026. <https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/Plan%20de%20Infraestructura%20TEC%202011-2026.pdf>
- CONARE (2019) Desafíos de la educación en Costa Rica y aportes de las universidades públicas. <https://utn.ac.cr/sites/default/files/attachments/AF%20De%20safi%CC%81os%20de%20la%20educacion%20en%20Costa%20Rica%20y%20aportes%20de%20las%20universidades%20pu%CC%81blicas.pdf>
- CONARE (17 junio 2025) Universidades Públicas demuestran técnicamente que, desde el 2017, la tendencia del FEES con respecto al PIB es hacia la baja y solicitan un crecimiento de 2,5% para el presupuesto 2026. <https://www.conare.ac.cr/universidades-publicas->

[demuestran-tecnicamente-que-desde-el-2017-la-tendencia-del-fees-con-respecto-al-pib-es-hacia-la-baja-y-solicitan-un-crecimiento-de-25-para-el-presupuesto-2026/](#)

Conforme Zambrano, G. y Castro Mero, J. (25 de marzo, 2020) Arquitectura bioclimática.

Consejo Institucional (2011) Plan de Infraestructura 2011-2026.

Dejtia, F. (30 de julio, 2024) Universidades Cero Emisiones: Lecciones para una construcción sostenible en América Latina

[https://www.archdaily.cl/cl/1019452/universidades-cero-emisiones-lecciones-para-una-construccion-sostenible-en-america-latina](#)

Delfino (29 noviembre 2024) UNED inaugura nuevas sedes en Atenas y Puriscal. [https://delfino.cr/2024/11/uned-inaugura-nuevas-sedes-en-atenas-y-puriscal](#)

Desmon (2021) Tabiques móviles plegables y apilables. [https://www.desmon.com/productos/tabiques-moviles-plegables-y-apilables/](#)

Durman (2025) Akasison: Drenaje para grandes áreas de techo. [https://durman.com/akasison/](#)

Euroinnova (2025) Definición de personal administrativo. [https://www.euroinnova.com/blog/personal-administrativo-definicion](#)

Fehling, N. y Silva, C. (2023) Construir sobre lo construido. [https://www.madera21.cl/project-view/construir-sobre-lo-construido/](#)

Fiscarelli, D. y Cremaschi, C. (s.f.) Vivienda: tensiones en el proceso tecnológico – proyectual teoría, producción y materialidad en obras arquitectónicas comparadas. [https://revistas.unne.edu.ar/index.php/arq/article/download/4287/3934/13589](#)

Flores, C., Montiel, M, Ramírez, L., Ramón, R. y Rivera, H. (12 de noviembre, 2024) Proyecto del Plan Maestro Clúster Demostrativo Escuela de Ingeniería en Construcción.

Fundación Keto (2019) Guía para la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia En edificaciones en zonas costeras. [https://fundecooperacion.org/wp-content/uploads/2020/10/KETO-Guia-Instalacion-de-sist.-de-agua-de-lluvia.pdf](#)

Gattupalli, A. (5 de marzo, 2023) ¿Qué es la arquitectura regenerativa? Límites del diseño sostenible, enfoque sistémico y el futuro. [https://www.archdaily.com/993206/what-is-regenerative-architecture-limits-of-sustainable-design-system-thinking-approach-and-the-future](#)

Geoinnova (30 de octubre, 2024) ¿Qué es la Declaración Ambiental de Producto (DAP)?

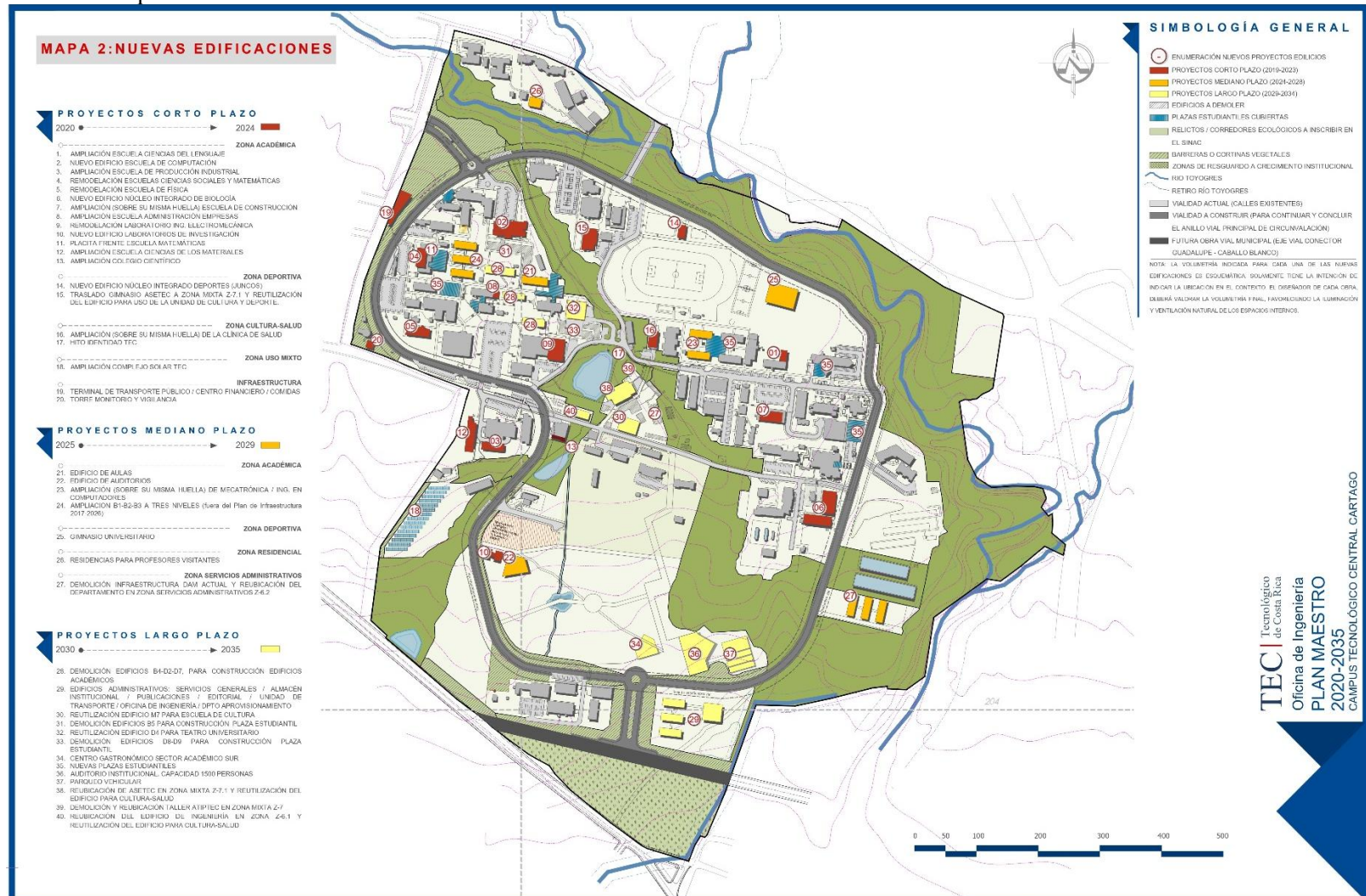
- <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-la-declaracion-ambiental-de-producto-dap/>
Huellas de Arquitectura (12 de setiembre, 2018) Medidas activas y pasivas en la arquitectura bioclimática. <https://huellasdearquitectura.com/2018/09/12/medidas-activas-y-pasivas-en-la-arquitectura-bioclimatica/>
- INDI (s.f.) ¿Qué usos tiene el aluminio en la construcción? <https://indiarquitectura.com/que-usos-tiene-el-aluminio-en-la-construccion/>
- Instituto Nacional de Aprendizaje (s.f.) Historia Natural de Costa Rica. Capítulo 4: Vegetación de Costa Rica: biodiversidad y riqueza. <https://www.inavirtual.ed.cr/mod/resource/view.php?id=1298511>
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (2022) Reglamento de Construcciones. <https://www.invu.go.cr/documents/20181/32857/Reglamento+de+Construcciones>
- Iza, A. (1 de setiembre, 2017) Ampliación del CEIP Alzaga Ikastola – Erandio. <https://andresiza.com/proyecto/ampliacion-del-ceip-altzaga-ikastola-erandio/>
- Kalzip (s.f.) Ikastola Alzaga, Erandio. <https://www.kalzip.com/es/referencias/ikastola-altzaga/>
- La casa de la arquitectura (s.f.) Alzaga Ikastola. <https://lacasadelaarquitectura.es/recurso/altzaga-ikastola/bed2de29-c107-4597-a403-895d423d0ccc>
- Laorden, C. y Pérez, C. (2002) El espacio como elemento facilitador del aprendizaje. Una experiencia en la formación inicial del profesorado.
- Marsh, A. (2025) Programa Sunpath 2D. <https://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html>
- Marsh, A. (2025) Programa Sunpath 3D. <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html>
- Mora, K. (2019) Universidades Públicas se unen para mejorar la educación nacional. <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/09/13/universidades-publicas-se-unen-mejorar-educacion-nacional>
- Mora, P. (23 junio 2023) La UCR reinicia las obras del nuevo edificio del Recinto de Paraíso. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2023/6/23/la-ucr-reinicia-las-obras-del-nuevo-edificio-del-recinto-de-paraíso.html>
- Núñez, J. (13 abril 2023) Campus Pérez Zeledón cuenta con moderno edificio académico. <https://www.unacomunica.una.ac.cr/index.php/abril-2023/4542-campus-perez-zeledon-cuenta-con-moderno-edificio-academico>

- Peña, M. (16 setiembre 2023) Programa Hélice UCR inicia la construcción de su edificio. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2023/9/16/programa-helice-ucr-inicia-la-construccion-de-su-edificio.html>
- Pinto Campos, B. (Mayo 2019) Arquitectura Y Diseño Flexible Una Revisión Para Una Construcción Más Sostenible. [Tesis Doctoral] Universidad Politécnica de Cataluña
- Poder Ejecutivo (27 de noviembre, 2020) Reglamento de requerimientos de diseño arquitectónico sobre edificios para la educación pública y privada en Costa Rica. Decreto N° 41103-MEP. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texo_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86618&nValor3=0&strTipM=TC
- Proyecto, progreso, arquitectura (noviembre 2017) Arquitectura escolar y educación. Editorial Universidad de Sevilla.
- Quesada, M. (2019) Condiciones de la infraestructura educativa en la región pacífico central: los espacios escolares que promueven el aprendizaje en las aulas. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/edu/v43n1/2215-2644-edu-43-01-00293.pdf>
- Random Materials & Equipment SA (2024) Louvers Costa Rica: Ventilación y Estilo con Ramdom Materials. <https://randomlatam.com/louvers-costa-rica/>
- Ramírez, L. (14 de marzo, 2024) Edificio Laureano Echandi alcanzó certificación internacional EDGE. <https://www.ccss.sa.cr/noticias/noticia?v=121335041023>
- Real Academia Española (24 de diciembre 2001) Definición de “estudiante Universitario”. <https://dpej.rae.es/lema/estudiante-universitario>
- Revista Código (25 de mayo, 2016) 10 universidades con arquitectura sustentable. Revista Código. <https://revistacodigo.com/10-innovadoras-universidades-con-arquitectura-sustentable/>
- Rincón Zambrano, D. y Ortiz Hernández, E. (27 de abril, 2023) Sistema de construcción Steel Framing y su impacto en la protección del medio ambiente. <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/615/836>
- Rodríguez, M. y Cobreros, C. (enero 2022) De la arquitectura sostenible a la arquitectura regenerativa, un cambio de paradigma en el contexto mexicano. <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/681/627>
- Rojas, B. (s.f.) Sede de San Carlos inició en el 2019 las obras del nuevo Ecocampus. <https://www.utn.ac.cr/content/sede-san-carlos-inicio-2019-obras-nuevo-ecocampus>
- San Juan, G. (2013) Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico. <https://d1.capsf.ar/wp-content/uploads/sites/3/2021/10/Disen%CC%83o-bioclima%CC%81tico-unlp.pdf>

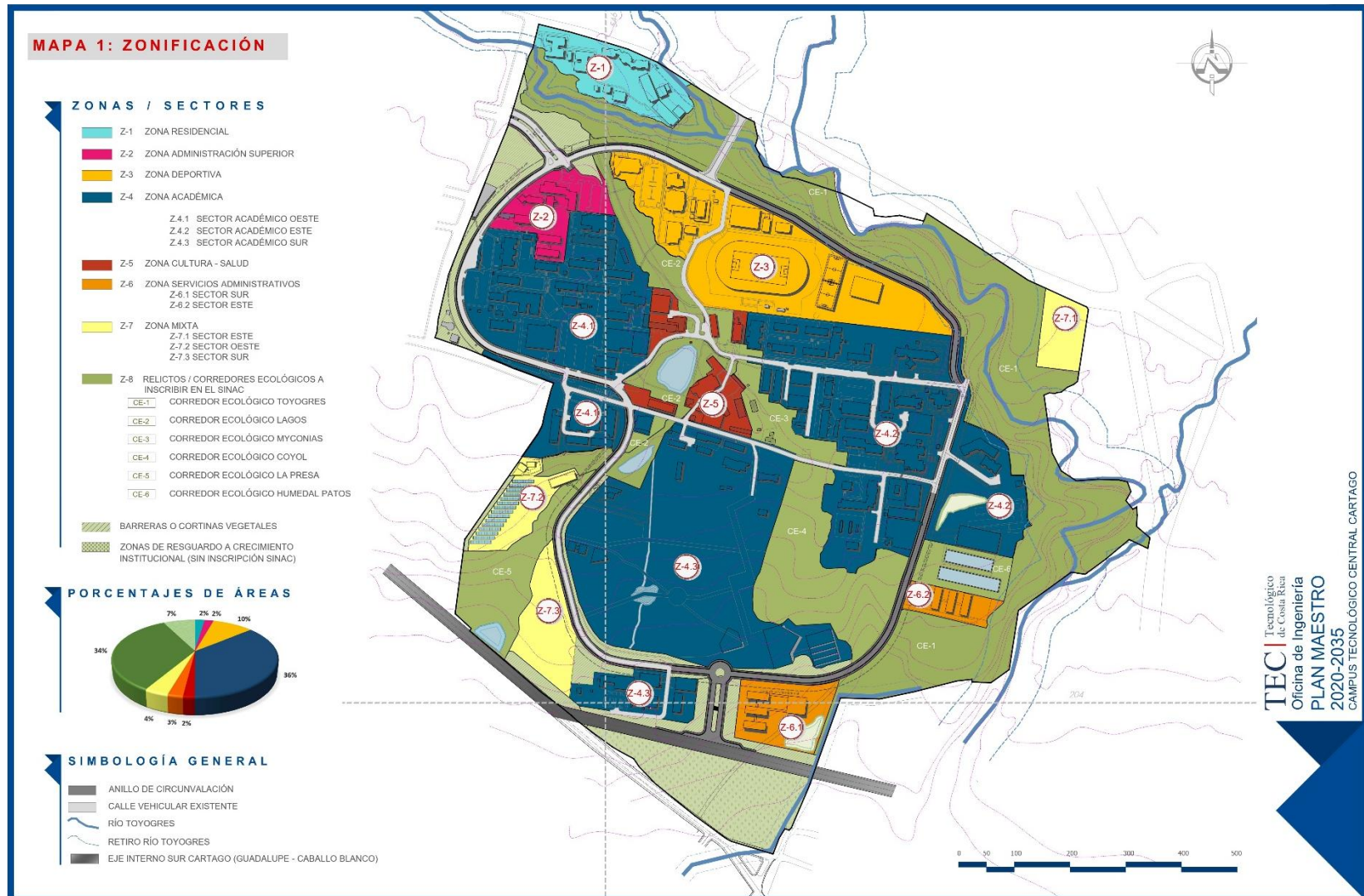
- Sánchez Méndez, D. (2017). Espacios estimulantes de educación y desarrollo especial para niños, jóvenes y adultos con capacidades cognitivas diversas: Evaluación, participación y diseño del Instituto Andrea Jiménez en San Francisco de Dos Ríos (Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica). <https://cedi.ucr.ac.cr/tesis/EA/EA-162.pdf>
- Secretaría Consejo Institucional (2019) Plan Maestro del Campus Tecnológico Central Cartago 2020-2035 y su normativa urbana.
- Semanate Yáñez, J., Flores Marcillo, C., Barba Barba, K. y Bustamante Sánchez, S. (Marzo 2024) Análisis de reducción del impacto ambiental con base en la construcción en Steel Framing. https://www.researchgate.net/publication/378209518_Analisis_de_reduccion_del_impacto_ambiental_con_base_en_la_construccion_en_Steel_Framing
- Software Informer (s.f.) Climate Consultant 6.0. <https://climate-consultant.informer.com/>
- Tecnimuebles (2025) Panel de oficina <https://www.tecnimuebles.com/productos/pt-007/>
- Torres, C., Mondragón, H., Marini, G. y Urrutia, I. (agosto 2024) Arquitectura y estandarización escolar. Pragmatismo y normalización de las escuelas rurales en Chile (1929-1980) https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-69962024000200044
- Universidad Europea (31 de julio, 2025) Arquitectura bioclimática: qué es y aplicaciones. <https://universidadeuropea.com/blog/arquitectura-bioclimatica-biomimetica/>
- Universidad Nacional Agraria (febrero 2024) Proyecto construcción de 2da planta edificio de aulas de clases del Centro Regional Camoapa. <https://www.una.edu.ni/wp-content/uploads/2024/03/ET.-AULAS-CAMOAPA.pdf>
- Urueta, G. y Betancur, V. (2021) Edificio universitario sostenible como alternativa de reducción de gastos administrativos y cuidado medioambiental desde la percepción de los usuarios. <https://dspace.tdea.edu.co/server/api/core/bitstreams/3b96b144-3d41-412c-acd5-7b1fb00eb757/content>
- Vargas Cordero, Z. (2009) La Investigación Aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- Vilaes (2025) Steel Frame vs construcción tradicional: Comparativa definitiva + 10 ventajas clave. <https://www.vilaes.com/steel-frame-vs-construccion-tradicional-comparativa-definitiva-10-ventajas-clave/>
- Zapata, L., Quiceno, A. y Tabares, L. (11 noviembre, 2016) Campus universitario sustentable. <https://www.redalyc.org/journal/1251/125148006010/html/>

Anexos

Anexo 1. Mapa Edificaciones



Anexo 2. Mapa Zonificación



Desarrollo de una propuesta arquitectónica para la nueva sede de la EICO

El presente formulario forma parte de un Proyecto de Graduación cuyo objetivo es desarrollar una propuesta de diseño arquitectónico para la nueva sede de la Escuela de Ingeniería en Construcción (EICO) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en Cartago. Su participación es fundamental para conocer las condiciones actuales de la Escuela y las expectativas de la comunidad académica respecto a la futura sede en el CECO. La información recopilada será utilizada únicamente con fines académicos y se mantendrá de forma confidencial.

¡Muchas gracias por dedicar unos minutos de su tiempo y contribuir con este proceso!

* Indica que la pregunta es obligatoria

Usuario de la EICO: *

- ☐ Estudiante
- ☐ Docente
- ☐ Personal administrativo

Género:

☐ Femenino

☐ Masculino

☐ Prefiero no decirlo

☐ Otro: _____

Rango de edad: *

☐ 17 - 20 años

☐ 21 - 25 años

☐ 26 - 35 años

☐ Mayor de 36 años

¿Cómo califica las condiciones actuales de los espacios físicos de la Escuela en los siguientes aspectos? *

	Muy deficiente	Deficiente	Regular	Bueno	Excelente
Iluminación natural	☐	☐	☐	☐	☐
Ventilación y confort ambiental	☐	☐	☐	☐	☐
Confort acústico	☐	☐	☐	☐	☐
Espacios de docencia (oficinas, aulas, laboratorios)	☐	☐	☐	☐	☐
Espacios para estudiantes (zonas de estudio, áreas comunes)	☐	☐	☐	☐	☐
Oficinas administrativas	☐	☐	☐	☐	☐
Accesibilidad (Ley 7600)	☐	☐	☐	☐	☐

Desde su experiencia, ¿cuáles son las principales deficiencias que presenta actualmente la Escuela en su infraestructura? *

Tu respuesta

¿Qué aspectos le gustaría que se prioricen en una propuesta de diseño para la nueva sede de la EICO? *

Tu respuesta

Enviar

[Borrar formulario](#)