

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO  
ESCUELA DE ARQUITECTURA

NARRATIVAS LUMÍNICAS: VARIABILIDAD Y ADAPTABILIDAD DE LA LUZ EN  
LA ARQUITECTURA

JEAN M. SANTOS PANTOJA

MAYO 2021



Universidad de Puerto Rico  
Recinto de Río Piedras  
Escuela de Arquitectura

Narrativas lumínicas: variabilidad y adaptabilidad de la luz en la arquitectura

Por: Jean M. Santos Pantoja

Tesis sometida al Programa Graduado de la Escuela de Arquitectura como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestría en Arquitectura de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras

Aprobada el 10 de mayo de 2021 por el Comité de Tesis

Director de Tesis:

Edgardo Pérez Maldonado

Miembros Comité de Tesis:

Alejandro Valsega Piazza

Jorge Rocafort

Laurie A. Ortiz Rivera



## Resumen:

Los factores ambientales, como es el caso de la iluminación, se encuentran constantemente variando, por consiguiente, el considerar la arquitectura como una que se adapta a estas diversas condiciones permite ofrecer mayor eficiencia energética en la medida que balancee la iluminación natural con la artificial. Se estudia cómo desarrollar una envolvente para una edificación que se adapte a factores de iluminación cambiantes para maximizar la eficiencia energética. Para lograr esto, se identifican los parámetros para el desarrollo de la iluminación adecuada para un programa comercial. Se utiliza como zona del estudio el Cantón Mall, localizado próximo al antiguo centro urbano del municipio de Bayamón. A partir de los factores climatológicos y urbanos, se trabajan estudios sobre diferentes configuraciones de aperturas en la fachada y cómo benefician la disminución del consumo energético, utilizando actuantes automatizados. A partir de este estudio se generará una fachada que se adapte a diferentes condiciones ambientales balanceando la iluminación natural y artificial para disminuir el consumo energético y enriqueciendo la experiencia espacial del usuario.

*Palabras Claves: iluminación natural, iluminación artificial, arquitectura autoadaptable*

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
Resumen .....	i
Tabla de Contenido .....	ii
Introducción.....	1
Resumen Bibliográfico .....	2
Capítulo I: Exposición del problema de investigación y descripción de condiciones.....	3
1.1 Problema de investigación .....	3
1.2 Preguntas de Investigación e Implicaciones Generales.....	4
1.3 Pertinencia.....	5
1.4 Hipótesis y expectativas de resolución.....	6
Capítulo II: Desarrollo histórico y teórico de la iluminación en las ciudades y	
la arquitectura.....	9
2.1 La electricidad como agente reformador urbano.....	9
2.2 La electrificación de Puerto Rico: Realidades locales.....	10
2.3 Interpretaciones teóricas acerca de la iluminación en la arquitectura .....	11
2.4 Luz e iluminación: Casos de Estudio.....	15
2.4.1 Una mirada a la arquitectura cinética como respuesta a condiciones cambiantes .....	15
2.4.2 Instituto de Cultura Árabe: Comienzo de una arquitectura Autoresponsiva .....	15

2.4.3 Al Bahar Towers- Una mirada responsiva de la arquitectura hacia factores ambientales.....	17
2.4.4 Cúpula del Reichstag- Una respuesta a realidades socioculturales .....	18
2.5 Interpretaciones teóricas acerca de la iluminación en la arquitectura .....	19
Capítulo III: Metodología y herramientas a ser utilizadas .....	21
3.1 Estándares y estrategias para iluminación interior .....	21
3.2 Metodología construcción de prototipos .....	22
3.3 Componentes a ser utilizados .....	23
Capítulo IV: Repensando el solar del Cantón Mall a través de la iluminación .....	25
4.1 Trasfondo sobre el emplazamiento .....	25
4.2 Retos del actual ofrecimiento .....	27
4.2.1 Abundancia de Centros Comerciales .....	27
4.2.2 Apariencia y Ofrecimiento .....	28
4.2.3 Cambios en el paradigma de compra .....	29
4.3 Nuevo acercamiento al emplazamiento .....	30
4.4 Cambio de prioridades y requisitos espaciales .....	32
4.5 Desarrollo del concepto arquitectónico .....	33
4.6 Dibujos y perspectivas del proyecto .....	36
4.7 Decisiones de sustentabilidad .....	43
4.8 Perspectivas del proyecto	
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones .....	50
Referencias .....	52



## **Introducción:**

En esta tesis se persigue el atender el siguiente problema de investigación: ¿Cómo los elementos de arquitectura, utilizando sistemas automatizados, puede proporcionar confort lumínico a sus usuarios respondiendo a su programa? Esto utiliza como base el estudio de la relación entre iluminación solar, cerramiento del edificio e iluminación artificial.

Esta investigación busca cumplir tres objetivos. El primero es conocer el trasfondo histórico y teórico de la iluminación y su efecto en la arquitectura como precursora. Segundo, proponer un diseño arquitectónico que brinde una iluminación adecuada respondiendo a realidades culturales, programáticas y de localización. Como tercer y último objetivo, establecer si existe alguna eficiencia energética en comparación a otros métodos convencionales. Para cumplir con el primer punto, se estudiará el trasfondo histórico tanto de la iluminación como del solar a ser estudiado, se analizarán casos de estudios que apoyen el desarrollo del proyecto.

Para atender el segundo objetivo, primeramente, se establecerá un procedimiento a seguir para el levantamiento de la información del local. A partir de la información recopilada se proseguirá de manera paralela a desarrollar la propuesta arquitectónica y el desarrollo del sistema autoadaptable. Con el fin de analizar el comportamiento y efectividad del sistema, se trabajarán simulaciones digitales.

## **Resumen Biográfico**

Jean Marcos Santos Pantoja es un diseñador arquitectónico nacido el 26 de marzo de 1996 en el municipio de Bayamón, Puerto Rico. Finalizó sus estudios de Bachillerato en Diseño Ambiental en la Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras durante el año 2019. Además de su experiencia educativa en la Escuela de Arquitectura, asistió a la Universidad Politécnica de Madrid, España, donde tomó cursos relacionados a la programación de Arduino, aplicándolo a contextos de diseño ambiental. Para el 2018 recibió junto a otros colaboradores una mención honorífica por parte del AIA en reconocimiento de diseño titulada AMPARO, el cual trabajaba una propuesta de respuesta inmediata al problema de pérdida de vivienda debido al Huracán María mediante un módulo temporero, con la posibilidad de convertirse en una vivienda permanente. Asistió a la organización de Enterprise Community Partners en el desarrollo de un manual para la construcción de viviendas seguras, luego del Huracán María titulado “Keep Safe”. En el 2020 colaboró en un Internado de Bioconstrucción con Plenitud P.R. orientado a la construcción utilizando como material el bambú y el superadobe. Además, trabajó en despachos de arquitectura, incluyendo la firma Fuster + Architects.

## **Capítulo I: Exposición del problema de investigación y descripción de condiciones.**

*"Just think, that man can claim a slice of the sun."*

*Louis Kahn*

### **1.1 Problema de investigación**

La iluminación es un elemento fundamental en los espacios que habitamos y que proyectamos como diseñadores. Desde la prehistoria, la definición de los espacios se hacía posible por la presencia de la iluminación. La iluminación en ese entonces era producida por elementos naturales como el sol y el fuego. Estos se convirtieron en un requisito para la apropiación, la adecuación y la experiencia espacial. El fuego presente de manera natural en el ambiente, fue dominada como herramienta por el ingenio humano, el cual logró reproducirla y controlarla para proporcionar iluminación en los espacios. En un futuro el candil fue sustituido por la bombilla incandescente, nutrida por la energía eléctrica. Esto nos permite ver cómo el desarrollo tecnológico busca mejorar las respuestas a los retos de la iluminación con el paso del tiempo.

A través de la historia, la iluminación de los edificios utilizando como fuente la luz natural, se convirtió en una inteligencia imprescindible para los maestros de obras y los arquitectos. El entendimiento del comportamiento de la luz natural (la luz solar), fue una de las ciencias más valiosas en la concepción y la proyección sistemática de los espacios. La iluminación también se consolida como método representativo luego del Renacimiento y el Barroco, dotando las obras artísticas y relieves arquitectónicos de tridimensionalidad mediante el juego de luz y sombras. Un ejemplo de esto lo encontramos en la exploración de arquitectos e ingenieros como Marco Vitruvio Polio, autor del tratado seminal "De architectura." El tratado de Vitruvio le dedica una generosa porción al comportamiento de la luz del sol utilizando como modelo los relojes de sol o los "sundials". La exposición de

Vitruvio respecto al tema confirma la necesidad imprescindible que tenían las sociedades antiguas y pre-modernas, de comprender la trayectoria, intensidades, calidades, alcance de la luz solar y su incidencia en las superficies de un edificio.

La discusión de esta inteligencia acumulada sobre la iluminación natural se retoma hoy en la investigación contemporánea donde se incluye la iluminación artificial. Si para los diseñadores y constructores antiguos la luz natural fue un recurso y una experiencia vital para concebir los edificios y espacios. Hoy día, la discusión de la iluminación artificial es un esfuerzo igualmente relevante para comprender, no solo los aspectos técnicos y utilitarios que sugiere el problema de su función y uso, sino sus problemáticas subyacentes, que incluyen: sobrecargas o desperdicio energético, la iluminación deficiente por exceso o la falta de iluminación en espacios exteriores e interiores, la falta de calibración de la iluminación, y finalmente, el efecto de todos esto y otros problemas en la experiencia de la iluminación para el usuario. Es desde este marco de problemas y oportunidades que identifico que me gustaría plantear mi problema de investigación:

¿De qué manera la aplicación de las tecnologías contemporáneas de iluminación artificial y la adecuación correspondiente de la piel del edificio, podría contribuir no solo a una experiencia arquitectónica más completa y para responder a los retos de conservación de recursos energéticos?

## **1.2 Preguntas de Investigación e Implicaciones Generales**

Como objetivo de esta investigación se discutirán diferentes tópicos. Entre estos temas me interesa auscultar como relevante para el problema de investigación lo siguiente:

1. ¿Cuál ha sido el desarrollo de los conceptos de la iluminación, tanto como instrumento y a la vez, experiencia dentro de la tradición arquitectónica, hasta nuestros días en Puerto Rico?
2. ¿Qué papel juega la iluminación en el desarrollo urbano y arquitectónico de un proyecto?
3. ¿Cómo los elementos arquitectónicos de cerramiento se pueden adaptar para responder a la iluminación cíclica que provee el sol?
4. ¿Cómo se podría proporcionar un ahorro energético visible?
5. ¿Cuáles son los niveles de iluminación óptimos para que una persona se desenvuelva adecuadamente dentro de un espacio controlado?
6. Pueden la luz e iluminación convertirse en una expresión de lo caribeño y lo cultural? Pueden estos estar visiblemente representados en una expresión contemporánea?

### **1.3 Pertinencia**

A pesar de que la iluminación de nuestros espacios es algo extremadamente importante para un proyecto arquitectónico, en un contexto como el de Puerto Rico, no siempre fue estudiada o implementada en maneras que abonen a la eficiencia energética o en maneras visiblemente creativas. Existe la posibilidad de que un espacio se encuentre en deficiencia o en exceso de lo requerido para un confort lumínico del usuario. Una de las posibles causas de que esto ocurra es el cambio de uso. El espacio pudo haber seguido todos los estándares requeridos, pero una vez se vio necesario modificar su uso, no necesariamente se adaptó de manera adecuada la iluminación. Además, si utilizamos la luz natural y su modelo de comportamiento, esta no se mantiene igual a toda hora, sino que varía en

dirección y en intensidad a medida que transcurre el día. La propuesta integra ambas posibilidades, la modificación del uso y el cambio de condiciones naturales de iluminación.

Otro factor es que a medida que pasa el tiempo, el ser humano se da cuenta que todas sus acciones tienen un impacto sobre el ambiente, por lo que es fundamental el proponer estrategias que disminuyan las sobrecargas energéticas en los edificios para así poder minimizar cualquier impacto ambiental asociado. Mediante un estudio realizado por la EPA (United States Environmental Protection Agency), se concluyó que para el 2017, como segunda categoría, “un 28% de los gases de invernaderos fueron producidos como consecuencia de la producción de electricidad” (EPA, 2018). A lo largo de la vida de un edificio, este incurre en un consumo constante de recursos energéticos. Este consumo energético está directamente relacionado a la utilización de la luz artificial para servir a espacios interiores y exteriores. El incorporar estrategias para aprovechar la iluminación natural proveniente del sol permite contrarrestar el uso de la artificial, permitiendo un ahorro energético.

### **1.5 Hipótesis y expectativas de resolución**

El objetivo de este proyecto de investigación es establecer estrategias que tomen como elemento fundamental la iluminación artificial, aplicada a través de tecnología sensible y responsiva, para maximizar la experiencia espacial, maximizar la eficiencia de los sistemas propuestos de iluminación en términos de su uso y función, y a la vez minimizar los efectos ambientales asociados al consumo energético. La luz natural se vuelve elemento para mitigar esa necesidad de luz artificial aplicada al programa siguiendo la tipología urbana caribeña.

Como método para modular los niveles de iluminación natural que llegan a los espacios interior, con sus diversos programas, se utiliza la envolvente, la periferia del edificio, el elemento que define el límite entre el interior y exterior del proyecto. Esta es una de las principales herramientas que tiene el diseñador para controlar los factores ambientales que inciden en el interior del edificio debido a que es el más próximo. La investigación se centra en el emplear un modelo que opere de manera automática para responder a dichas condiciones. ¿Por qué implementar un sistema auto-responsivo y no uno completamente pasivo? Debido a que la investigación se centra en una arquitectura orientada a uso comercial, existen ciertas características o condiciones que lo beneficiarían.

En el caso de programas orientados a usos residenciales, el usuario termina siendo el que habita de manera protagónica el espacio, y por ende este tiene mayor control sobre los sistemas y consciencia de cómo se utilizan los recursos. En el caso de los lugares comerciales es diferente. Los sistemas en programas como centros comerciales, oficinas e inclusive institucionales son diseñados con sistemas centralizados. Estos sistemas centralizados no siempre tienen la capacidad para responder a las condiciones particulares de cada área. A su vez el usuario no necesariamente está en control o presenta atención a esta configuración, requiriendo que operen de manera permanente y por lo tanto incurriendo en el consumo constante de energía. Con la propuesta se espera encontrar que, a mayor adaptabilidad de la pieza, mayor reducción en el impacto energético y mejor condición lumínica para el usuario.

La resolución no solo trabaja y desarrolla un sistema que se adapte a los factores lumínicos variantes sino también establece el rol de la arquitectura como promulgadora para promocionar la visita y uso del proyecto. No solo mediante la actividad de la pieza durante el día sino también como pieza escultórica nocturna, trabajando de manera inversa en su

posición diurna. La propuesta como magneto de actividad al centro urbano. Con esta tesis se espera desarrollar una base de conocimiento transferible a diferentes acercamientos, siguiendo una procediendo de análisis histórico y teórico, desarrollo de metodología, producción de simulaciones y prototipos, con el fin de desarrollar una base de procedimiento para el desarrollo de la propuesta de arquitectura.

## Capítulo II: Desarrollo histórico y teórico de la iluminación en las ciudades y la arquitectura

*“The history of architecture is the history of the struggle for light”*

*Le Corbusier*

### 2.1 La electricidad como agente reformador urbano

La utilización de la electricidad como fuente de energía, trajo consigo diferentes innovaciones. Esta transición estuvo acompañada de la construcción de infraestructura que permitirá su distribución para permitir su accesibilidad a los ciudadanos. Un invento revolucionario fue el de la bombilla incandescente. A pesar de que como invención no se puede atribuir a una persona en particular, debido a que el producto es la suma de diferentes contribuyentes, el personaje de Thomas Edison sale a relucir como uno de los que impulsó su viabilidad. Ya en Inglaterra para el año 1835 habían logrado generar luz utilizando electricidad, el problema era la vida útil de la bombilla. Thomas Edison logró descubrir para el 1879 que un filamento con composición de carbono extendía la vida útil de la bombilla. Luego de un periodo de refinamiento pudo comercializar una bombilla que duraba hasta 1,200 horas. Esta revolucionaria tecnología sustituyó la necesidad de velas y lámparas de gas, permitiendo mayor seguridad en contra de incendios. El sistema facilitó la sistematización del alumbrado el cual da vida a los centros urbanos.

Los sistemas de transportación pública, específicamente ferroviarios, también fueron sustituidos de vapor por eléctrico. Esto permitió mayor introducción en los sistemas urbanos debido a que disminuyó tanto la contaminación local emitida por las máquinas, como una disminución de la contaminación auditiva. La transición a la utilización de la electricidad no solo trajo cambios a nivel urbano sino en la cotidianidad de las personas. Todos los equipos se orientaron a esta fuente de energía surgiendo un sin número de herramientas que

facilitaban las distintas tareas. Sin duda la energía eléctrica permitió una transformación de los paradigmas convencionales de la época y propicio nuevos avances tecnológicos en todos los niveles. Cabe destacar el rol de la iluminación potenciada por la energía eléctrica y la cual es utilizada en los proyectos de arquitectura.

## **2.2 La electrificación de Puerto Rico: Realidades locales**

En la cotidianidad la presencia de la electricidad es dada. Se hace imposible el imaginar un mundo que funcione sin esta. Todas las actividades que hacemos en los espacios tienen alguna dependencia del sistema eléctrico. Las ciudades son co-dependientes de la infraestructura, específicamente de la electricidad. Sin embargo, ¿de qué manera se dio este proceso en Puerto Rico? La electrificación de Puerto Rico se dio bajo ciertas circunstancias particulares. Según la página de la AEE, el primer lugar donde se instaló el primer sistema de alumbrado eléctrico fue en el Municipio de Villalba para 1893. Este fue un sistema erigido con capital privado. Toda energía distribuida en su origen fue a través de organizaciones privadas. La Ciudad Capital, San Juan, fue el primer centro urbano en ser alumbrado. Para el año 1915 se construyó la Central Hidroeléctrica Carite 1, aprovechando la caída de agua del Lago Carite. A medida que se pasó el tiempo, se fueron instalando nuevos sistemas para cumplir con la demanda energética. Para el 1937, se comenzó a instaurar el sistema público para la producción de energía con la compra de compañías privadas como la Ponce Electric Company. Con el fin de facilitar la organización de este complejo sistema se crea en el 1941 la Autoridad de las Fuentes Fluviales.

Para la década de los años cincuenta, Puerto Rico se enfrentaba unas nuevas realidades económicas. Bajo iniciativas como “Manos a la obra”, se buscaba industrializar la economía del país. Por esta razón se optó por crear sistemas con mayor capacidad, para ser

más atractivo para compañías estadounidenses donde verían ciertos beneficios para establecer sus fábricas como mano de obra económica y exención de contribuciones. Existe una transición hacia la incorporación de las termoeléctricas al sistema generatriz de la autoridad. Durante un mensaje en la inauguración de la planta termoeléctrica de Palo Seco, el exgobernador Luis Muñoz Marín resaltó: “sin electricidad no es posible pensar en el mundo moderno, en la industrialización en grande escala para ningún país” (Cristina Maldonado Caro, 2015). Aunque en el presente, la producción de electricidad se ha convertido en un problema urbano mayúsculo por sus implicaciones ambientales globales, y los esfuerzos para transformar la producción de electricidad de combustibles fósiles a fuentes energéticas renovables, es difícil imaginarnos la arquitectura del presente sin la electricidad. Puerto Rico en particular ha sufrido de la falta de mantenimiento y renovación de los sistemas, causando vulnerabilidad en cuanto a la dependencia de la red.

Esto nos trae a pensar que la arquitectura debe reconocer las limitaciones eléctricas a las que los proyectos de arquitectura se enfrentan. Se muestra la necesidad de promover la utilización de iluminación natural maximizando su exposición apropiada. De esta manera se elimina o disminuyen la utilización de elementos de respaldos, como son las plantas energéticas, que tienen alto impacto ambiental tanto energético como de emisiones.

### **2.3 Interpretaciones teóricas acerca de la iluminación en la arquitectura**

Los seres vivos tienen diferentes métodos para percibir el ambiente que les rodea. Debido a la naturaleza del ser humano, este requiere ciertos niveles de iluminación para poder apreciar su entorno y desenvolverse adecuadamente en sus faenas. Desde un comienzo las antiguas civilizaciones han destacado la iluminación solar como fuente de vida. El sol era inclusive considerado como una deidad. Estas civilizaciones desarrollaron sus tradiciones y

arquitectura alrededor del sol. Podemos encontrar evidencia en ejemplos tan antiguos como Stonehenge ubicado en el Reino Unido y perteneciente al periodo Neolítico (véase figura 2.3.1). Se piensa que dicha construcción en piedra se trabajó con la finalidad de que funcionara como un calendario. Mediante los patrones de sombras que emitía a través de su estructura se podía medir cómo pasaban las distintas estaciones del año. La palabra iluminar, proviene del latín *illuminare* que significa bañar con luz o llenar de claridad (Valentín Anders, 2001-2020).



Figura 2.3.1. Stonehenge, Reino Unido por Pixabay (licencia bajo CC0) acceso el 11 de octubre de 2020.



Figura 2.3.2. Imagen del óculo del Panteón, Roma, Italia (2019), por Jean M. Santos Pantoja. (Imagen tomada por

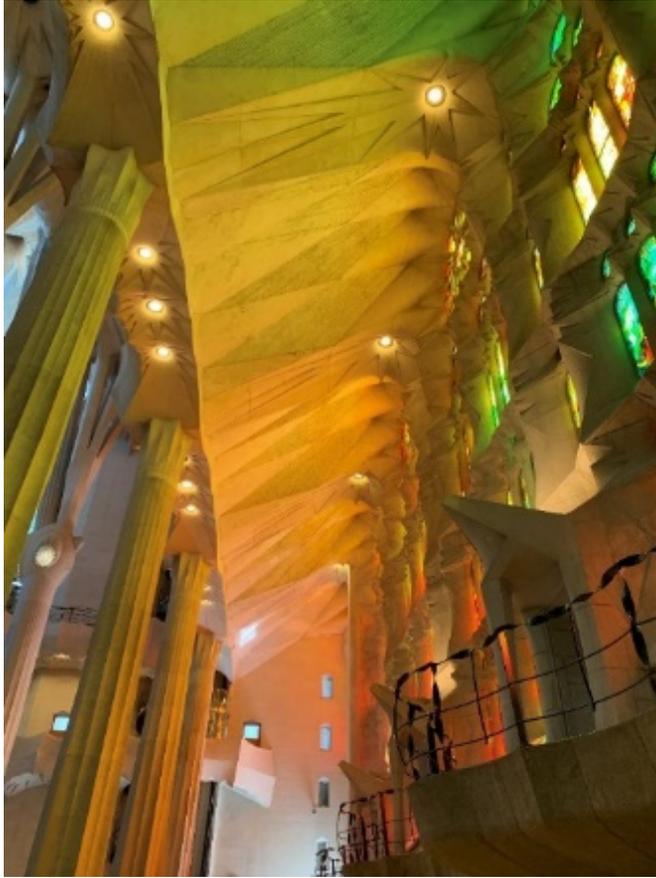


Figura 2.3.3 .Vitrales Sagrada Familia, Barcelona, España (2019) por Jean M. Santos Pantoja (Imagen tomada por autor).

La iluminación proveniente del sol permite distinguir tanto el espacio como el tiempo. La arquitectura en sí está directamente relacionada a la delimitación de un espacio, lo denominado lo material, algo tangible. Se separa un área del resto y solo es posible hacerlo mediante la identificación, utilizando la vista. Otro elemento fundamental respecto a la iluminación proveniente del sol es que nos permite establecer el tiempo.

De este análisis se pueden extrapolar tres factores que influyen en el desarrollo de un proyecto que toma en consideración la iluminación: el programa o usos que se llevarán a cabo dentro del edificio; la localización, define la inclinación con respecto al horizonte de donde proviene la fuente de luz natural según la posición geográfica, y el tiempo; define la ubicación y trayectoria del sol de acuerdo con la época del año y la hora del día.

Todo organismo responde de manera autónoma a los estímulos ambientales con los que se encuentra. A pesar de que la arquitectura se puede ver como un objeto, algo estático, inanimado, en cierta medida es una extensión, una adaptación que hemos desarrollado para brindarnos protección y llevar a cabo nuestras actividades. Elisa Valero en su libro *Light in Architecture: The Intangible Material* coloca a la arquitectura como “la tercera piel del ser humano” (Elisa Valero,2015), extensión de nosotros sobre el ambiente. Esto tomando como primera piel la biológica (con lo que nacemos) y segunda la ropa (que comienza a ser una adaptación artificial).

En el mito de la cabaña primitiva tratado en la obra titulada *Essai sur L'Architecture* perteneciente a Marc-Antoine Laugier, la arquitectura se ve como algo que se deriva de la naturaleza. Esto se acerca a la parte de las funciones con las cuales se componen los elementos como el techo y paredes. Siguiendo la línea de cómo podemos tomar características presentes en la naturaleza para informar nuestros diseños arquitectónicos. Mediante los elementos de recubrimiento autoadaptables se busca atender la condición lumínica de manera dinámica similar a respuestas naturales como nuestras pupilas, que modifican su tamaño para aumentar o reducir la cantidad de iluminación que llega a la retina. En el caso de la arquitectura modular la cantidad de luz que llega al interior del edificio.

## **2.4 Luz e iluminación: Casos de Estudio**

### **2.4.1 Una mirada a la arquitectura cinética como respuesta a condiciones cambiantes**

Durante el siglo XX, la arquitectura auto-adaptable comenzó su desarrollo y utilización en diversos proyectos. Esta ha tenido un desarrollo bastante lánguido, comparado otros acercamientos, debido a factores como: la complejidad de su elaboración, su aplicación, costo de construcción y costo de mantenimiento. A pesar de esto, la arquitectura cinética ofrece tanto cierta eficiencia al momento de funcionar, como un atractivo estético por el dinamismo que se presenta en los proyectos que lo utilizan. Se dota al edificio de cierta vida al poseer un comportamiento que no es constante, siempre percibido de manera diferente.

En el caso de los objetos de la ingeniería que utilizan el movimiento como parte de su funcionamiento, muchas veces se producen a grandes escalas, debido a que están diseñados para cumplir con un uso o propósito. En la arquitectura, cada proyecto tiene sus variables que lo hacen único, por lo que, para lograr resultados adaptables y eficientes, los sistemas requieren adecuarse, y por lo tanto necesitan un esfuerzo mayor para su implementación. En el proceso tradicional de diseño en la arquitectura, la forma va acompañada de la función, pero en la arquitectura cinética la interacción (cómo actúa la pieza) debe estar atada al concepto de forma y función desde etapas tempranas del diseño (H. Haidari, 2018).

### **2.4.2 Instituto de Cultura Árabe: Comienzo de una arquitectura auto-responsiva**

El desarrollo del proyecto del Instituto del Mundo Árabe, localizado en París, Francia, fue diseñado por el arquitecto Jean Nouvel. Su construcción finalizó para el año 1987 y fue emplazado en las cercanías del río Sena y la catedral de Notre Dame de París. Se optó por esta localización debido a que originalmente existían asentamientos relacionados a la cultura musulmana. Jean Nouvel quería mantener una cita a la cultura tradicional árabe

pero que el edificio mantuviese un vocabulario moderno. De esta manera utilizó la geometría característica de la “*mashrabiya*”, presente en celosías musulmanas, para la geometría de sus módulos. El edificio empleó dos vocabularios principales, la fachada que daba hacia el río, se mantuvo con líneas simples y materialidad en cristal, orientado a una estética occidental. En la fachada sur al ser climáticamente más crítica, en cuanto a los rayos del sol por su localización, se optó por implementar los módulos responsivos con la geometría derivada de la *mashrabiya*.

Las láminas que comprenden el módulo fueron fabricadas principalmente en aluminio. En cuanto al movimiento de las piezas, operan similar al diafragma de una cámara. Esto significa que tenían dos componentes, el marco estático, que sirve como base, y las láminas que se movían. El motor que otorga función a la pieza da un movimiento percibido como rotacional. Los módulos poseían una serie de sensores fotosensibles que contribuían a la operación del módulo con el fin de definir la iluminación solar que se permitía que entrara al edificio. El módulo también está compuesto de dos capas de cristal. El cristal externo es uno fijo y sirve para proteger al sistema. El interno es operable con el fin de poder darle mantenimiento a las piezas y protegerle de los usuarios del espacio.

Como toda tecnología en su comienzo, se enfrentó a ciertos retos y no necesariamente logró superarlos. Un aspecto adverso fue que, debido a la complejidad de las piezas, el costo de mantenimiento y reparación, la mayoría de los diafragmas se mantienen estáticos en la actualidad. Aquellos que todavía funcionan, han perdido la auto-adaptabilidad de los sensores y solo operan controlados por una computadora de manera manual. A pesar de esto, se reconoce su importancia como uno de los proyectos pioneros con este tipo de acercamiento hacia cerramientos de edificios.

### **2.4.3 Al Bahar Towers- Una mirada responsiva de la arquitectura hacia factores ambientales**

Las Torres Al Bahar, trabajadas por la firma Aedas Architects y localizadas en Abu Dhabi, capital de los Emiratos Árabes, son un ejemplo a gran escala de la implementación de sistemas que responden de manera automatizada a la necesidad de controlar factores ambientales. Ubicados en una zona de altas temperaturas donde se sobrepasan los 100 grados Fahrenheit, este par de torres orientadas al programa de oficinas, requerían un elemento que las protegiera de tanto los intensos rayos solares, como de las tormentas de arenas que ocurren de manera esporádica en la zona. El proyecto se logró gracias a la visión de una firma de arquitectura y la colaboración de más de 300 ingenieros pertenecientes a distintas disciplinas.

Siguiendo el desarrollo conceptual para el diseño geométrico de la pieza, Aedas Architects utilizó como cita cultural el “*mashrabiya*”. Este elemento es una celosía tradicional encontrada en las residencias árabes para filtrar la iluminación solar, proveyendo sombra a los espacios interiores. No solo es una referencia a las formas características de la cultura árabe, sino también en función como elemento intermediario entre el interior y el exterior de los espacios. En la abstracción geométrica se denota la utilización del triángulo, los cuales reconfiguran de manera mecanizada su forma para modular la iluminación. La fachada del edificio orientada hacia el norte se mantiene desnuda debido a que por su orientación no requiere la misma protección solar que tienen las otras zonas críticas.

Los paneles de los módulos están fabricados en el material de PTFE estirado (politetrafluoroetileno), un tipo de fibra de vidrio. Posee micro-perforaciones las cuales

permite que respire la cara interior, pero debido al tamaño de las aperturas resista el agua. Se seleccionó este material debido a su resistencia a las altas temperaturas. En cuanto al mecanismo con el cual funciona, utiliza un actuador lineal independiente cuyo comportamiento es similar al de una sombrilla. Mediante la utilización de sensores ya previamente programados y estudiados en simulaciones tanto digitales como en prototipos físicos, se regula el nivel de permeabilidad de manera automatizada. Se estima que la piel permite reducir en un 50% la ganancia térmica del edificio atenuando la necesidad del aire acondicionado. Se reconoce que la construcción y el mantenimiento del sistema utilizado es uno elevado. El contexto económico en el cual se elaboran las Torres Al Bahar es uno próspero debido a lo lucrativo que es la industria del petróleo. Se estima que un 20% del costo de construcción se le atribuye a la elaboración de la piel.

#### **2.4.4 Cúpula del Reichstag- Una respuesta a realidades socioculturales**

La intervención trabajada por la firma de arquitectura Norman Foster & Partners sobre el edificio del Parlamento Alemán, localizado en Berlín, consistió en restaurarle la cúpula al edificio existente. La cúpula original había sido bombardeada durante los enfrentamientos de la Segunda Guerra Mundial, en una batalla entre los rusos y alemanes, debido a que funcionó como uno de los últimos fuertes del régimen nazi. Durante varios años el parlamento se mantuvo en desuso, como una ruina. A finales del siglo XX, con la unificación del gobierno alemán, se decidió el restaurar la cúpula y reestablecer los procesos gubernamentales en esa localidad. El proyecto tiene la capacidad para recibir diariamente una cantidad máxima de 10,000 personas.

Inaugurada en el año 1999, la nueva cúpula se muestra con un vocabulario totalmente diferente a la original. Convencionalmente, la cúpula es un elemento sólido y pesado. Con la

nueva intervención, el arquitecto Norman Foster, trabaja el domo en acero y cristal, dándole sentido de liviandad y transparencia. La cúpula no es solo un elemento visible, sino que puede ser visitado por el público en general. Los visitantes tienen la posibilidad de recorrer el interior y presenciar los eventos parlamentarios que ocurren. Dentro de la cúpula existe una rampa que va ascendiendo de manera de espiral la cual te da visibilidad al contexto que rodea al edificio. Como núcleo tiene una serie de espejos que te permiten tener visibilidad hacia la cámara interior. La cámara principal del parlamento utiliza la ventilación natural a través de la cúpula. El domo está diseñado para seguir electrónicamente la trayectoria y posición del sol, con el fin de regular la iluminación del sol que entra al parlamento.

Detrás de esta tectónica de este diseño existe un valor simbólico completamente explícito, como resultado del pasado complejo y umbrío de Alemania. Vinculado al tema de la iluminación, la transparencia de la cúpula trae el tema de la democracia, de cómo los procesos gubernamentales deben ser transparentes y estar a la luz del pueblo. La rampa y el que pueda ser visitada por cualquier persona trae el tema de la accesibilidad e inclusión, de que toda persona puede y debe formar parte de las decisiones que se llevan a cabo. A su vez, que el usuario suba y quede por encima de los miembros del parlamento, responde a que los funcionarios gubernamentales tienen el propósito de servirle al pueblo y el gobernado debe fiscalizar los procesos gubernamentales. Debido al atractivo de esta intervención no solo se vuelve una propuesta cargada de simbolismo, relevancia histórica y cultural, sino que comienza a tomar importancia como lugar para ser visitado, tanto por residentes como turistas, ejerciendo la función de magneto de actividad para la zona.

#### **2.4.5 Conclusiones sobre los casos estudiados**

Los avances tecnológicos son percibidos como algo frío, matemático y calculado. Se vinculan a las máquinas y computadoras debido a su lógica y funcionamiento técnico. Con estos tres casos de estudios, se puede ver como un elemento que forma parte de una progresión cultural. En el caso del Instituto de Cultura Árabe de Jean Nouvel, localizado en Francia, y al Bahar Towers de Aedas Architects, localizado en los Emiratos Árabes, citan el *mashrabiya*. Este elemento cultural y arquitectónico está presente en las celosías de origen árabe. Son utilizadas en contextos similares, pero con interpretaciones geométricas diferentes y aplicado a edificios con programas y escalas distintas. El Instituto de Cultura Árabe orientado al uso de exhibiciones en un edificio de mediana altura y al Bahar Towers al uso de oficinas para un par edificios de rascacielos. Se crean piezas visibles que responden a las necesidades y cambios lumínicos para dotar de una identidad particular a los edificios.

El proyecto de intervención sobre la Cúpula del Reichstag trabajado por la firma de Norman Foster, localizado en la ciudad de Berlín, Alemania, también tiene implicación poética basado en el contexto histórico que precedió dicha obra. En este caso se contrasta a las primeras dos intervenciones mencionadas. No consta de un patrón geométrico basado en un elemento cultural ni es colocado de manera explícita en la fachada. La narrativa del propio edificio lleva el mensaje y los elementos automatizados complementan la sensación espacial del usuario y su habitabilidad. Además, la expresión de la tecnología y la arquitectura abordan de manera experiencial la moraleja de un pasado conflictivo y cómo este se reivindica con la democratización del proceso parlamentario.

La observación de estos precedentes y de otros proyectos similares confirman que la expresión de la tecnología puede conjugarse, a través de la arquitectura, con espacios mucho más interesantes, y mucho más complejos como la significación y la experiencia estética.

### Capítulo III: Metodología y herramientas a ser utilizadas

"We find beauty not in the thing itself but in the patterns of shadows, the light and the darkness, that one thing against another creates."  
Junichiro Tanizaki

#### 3.1 Estándares y estrategias para iluminación interior

El proceso de diseño de la iluminación en un proyecto forma de un complejo proceso. Según el libro titulado *Designing with Light: The Art Science and Practice of Architectural Lighting Design*, existen tres categorías en las cuales se puede dividir la iluminación: la iluminación general o de ambiente, iluminación para tarea y la iluminación de acentuación (Jason Livingston, 2014, p.13). Cada uno de estos tipos de iluminación cumplen con una función. La iluminación de ambiente incluye la iluminación general percibida en el espacio y es a la que se le atribuye el estado anímico. Puede provenir de fuente natural o artificial y usualmente está compuesto por luminarias que distribuyen la iluminación de manera equitativa a través del espacio. La iluminación para tarea otorga una iluminación particular en un espacio determinado que atiende actividades específicas como leer, utilizar computadora, comer, etc. Por último, la iluminación de acentuación también se aplica a una cosa en particular, pero en este caso su propósito es enfatizarlo. Puede ser utilizado como estrategia para resaltar un elemento arquitectónico, una obra de arte en una exhibición o un artículo en venta en una tienda.

Debemos pensar en la iluminación como algo dinámico y que exhibe características que podemos controlar a través del diseño. Entre los elementos que podemos controlar se encuentran la intensidad de la iluminación, su color, la dirección en que ilumina y su fuente. Un elemento que el diseñador puede utilizar para crear espacios más interesantes es el contraste de intensidad y color de la iluminación. El contraste debe ser empleado de manera

adecuada para beneficiar el uso y la sensación espacial. El crear un contraste marcado puede beneficiar programas como exhibiciones, restaurantes y lugares religiosos, donde las sensaciones experienciales del usuario son protagonistas. En espacios donde se trabajan tareas visualmente rigurosas, como son los salones de clases, bibliotecas y laboratorios requiere una iluminación uniformemente distribuida a través de este.

Otro elemento importante del diseño con iluminación es su color. Momento de considerar el color de la iluminación incluyen la calidez y frialdad. De igual manera, el color influye la manera en que percibimos los elementos iluminados. Los colores con los que percibimos los objetos se puede considerar como “aparentes” debido a que el color no es algo completamente definido sino que se da debido a ciertas condiciones particulares de iluminación.

Al momento de diseñar un espacio es necesario el velar por los parámetros requeridos de iluminación para facilitar el desenvolvimiento adecuado de los usuarios sea apropiado para la actividad que estos estarán llevando a cabo en dichos espacios. Con el fin de velar por una adecuada iluminación se han trabajado guías que establecen los valores recomendados para ciertas actividades. Para propósito de esta investigación se utilizan las establecidas por Illuminating Engineering Society (IES).

### **3.2 Metodología construcción de prototipos**

Con el fin de producir datos de iluminación una vez desarrollada la propuesta se construyen prototipos del espacio propuesto. Se emplean sensores y actuantes pertenecientes a la herramienta del sistema de Arduino. Arduino es una plataforma que se encarga de tanto desarrollar placas para micro-procesamiento (el hardware), como el software para la

programación y utilización de las placas. Este sistema y componentes poseen una infinidad de sensores y aplicaciones. El sistema Arduino se selecciona como herramienta por factores como su accesibilidad económica y su flexibilidad para generar elementos interactivos.

En esta investigación es empleado dos maneras dicho sistema. Uno para el registro de los valores lumínicos en tiempo real en los modelos construidos proporcionalmente, mediante sensores fotosensibles. El segundo componente modula los niveles lumínicos en respuesta a los datos registrados en los sensores fotosensibles. Se reconoce las limitaciones de estos tipos de sensores, por lo que su aplicación es recomendada para fines de prototipado, pero no necesariamente para construcción. Los sensores se colocan en dos localidades: en el exterior para registrar los valores lumínicos en el exterior del proyecto y en el interior para denotar el contraste. Para mantener de manera accesible el proyecto, los prototipos no son trabajados a escala real, sino que son elaborados a un tamaño proporcional.

### **3.3 Componentes a ser utilizados**

Dentro de la variedad de la variedad de sensores y componentes a continuación se muestran aquellos seleccionados para construir el prototipo y para estudiar el comportamiento de la pieza. El “motherboard” es el controlador principal, donde ocurre el procesamiento de la información. Debe ser programado desde una computadora a través de un puerto USB. El “motherboard” (Figura 3.1.2.1) puede ser alimentado a través del propio USB o una batería de 9V. La placa de prototipado (Figura 3.1.2.2) en combinación con los conectores se utiliza para estudiar los circuitos previos a ser soldados.

La fotorresistencia (Figura 3.1.2.3) está compuesto a un cátodo (un negativo) por donde salen electrones, y un ánodo (por donde entra la energía). Debido a que no contiene

ninguna polaridad, esta puede ser conectada en cualquiera de los tipos de electrodos. La fotorresistencia detecta cambios en los niveles de iluminación, modificando su resistencia de acuerdo con la iluminación que recibe. A medida que aumenta la iluminación la resistencia del sensor fotosensible disminuye, mientras que si disminuye la iluminación la resistencia aumenta. Este cambio de energía es detectado por la placa programada y es utilizada como información para inducir cierto comportamiento en la pieza.

## Capítulo IV: Reinterpretando el espacio del Cantón Mall a través de la iluminación

### 4.1 Trasfondo sobre el emplazamiento

El proyecto donde se integra el conocimiento de esta tesis se desarrolla en el antiguo centro urbano del municipio de Bayamón. Este municipio cuenta con aproximadamente 208,116 habitantes, colocándolo en el segundo pueblo de Puerto Rico con mayor población según el Censo del 2010. En un pasado el centro urbano era uno activo que contuvo una dinámica actividad comercial. El Cantón Mall, inaugurado para la década del 1980, traía una idea innovadora para ese entonces: un espacio bajo techo, con aire acondicionado que albergaba una variedad de tiendas, “*food court*”, estacionamiento y otros servicios. Localizado en los límites del casco urbano de Bayamón, cuenta con el beneficio de la cercanía a puntos de transportación pública como guaguas, *trolley* y en el presente, la última estación del Tren Urbano. No obstante, con el paso del tiempo y a pesar de su popularidad, este centro comercial comenzó a quedar rezagado.



Figura 4.1.1: Inauguración del Cantón Mall (cortesía de Alberto Corretjer Reyes)



Figura 4.1.2: Fachada sur del Cantón Mall, próxima al casco urbano del pueblo (cortesía de Alberto Corretjer Reyes)

El centro urbano de Bayamón, incluyendo al Cantón Mall, se vieron afectados por diversos factores. Entre estos posibles factores se encuentra el desparrame urbano. Esto se debe al desarrollo de núcleos de urbanizaciones aisladas cuya forma de acceso se potenciaba y se replicaba por la proliferación del vehículo. A su vez se generaron zonas comerciales menores próximas a estas nuevas zonas de densidad poblacional. Entre otros factores se sumaron el surgimiento de otros centros comerciales con ofrecimientos más atractivos como cines y tiendas anclas de cadenas extranjeras. Solo en el municipio de Bayamón existen un número considerable de centros comerciales de diferentes escalas y tipologías como Plaza del Sol, Santa Rosa Mall, Plaza Río Hondo, Rexville Plaza, Bayamón Center, entre otros. El Cantón Mall actualmente opera principalmente con una limitada oferta de comercios y ciertas oficinas de las cuales se incluye la oficina de la Autoridad de Energía eléctrica. Esto lo ha condenado a lentamente a perder su relevancia, y lo dirige, de forma inminente, a convertirse en una ruina durante los próximos años.

El Cantón Mall desde su exterior se puede percibir como un entorno inhóspito para el peatón. Reconoce el acceso hacia el centro urbano mediante una de sus entradas principales,

pero tipológicamente tiene apariencia de almacén. Esto se debe a que tiene muros sólidos en la mayoría de su periferia, ciegos a su contexto existente. La propuesta busca sustituir la condición existente del Cantón Mall con un proyecto que, ofrezca usos o programas nuevos que respondan al contexto urbano con otras tendencias comerciales que no necesariamente atienden los centros comerciales tradicionales. A su vez, como estrategia principal de diseño se utiliza la iluminación como eje experiencial que acentúe las interacciones y percepciones de los usuarios y a través de los programas que se articulan.

## **4.2 Retos del actual ofrecimiento**

Existen ciertos retos que el programa y estructura actual no pueden satisfacer para permitir uso perdurable. A continuación, se muestran aquellos que el investigador encontró como relevantes en la condición actual del centro comercial.

### **4.2.1 Abundancia de Centros Comerciales**

Puerto Rico es un territorio de poca extensión. El grueso de la población se ha establecido en lo que se conoce como la zona Metropolitana. Debido a esto, se han desarrollado un sin número de centros comerciales en esta zona de diferentes proporciones y tipologías (ver diagrama 4.2.1.1 para localización del Cantón Mall con respecto a otros centros comerciales). Esta abundancia ha creado competencia entre los diferentes centros comerciales. Usualmente aquellos con grandes cadenas conocidas o programas diversos como zonas de juego o cine, disfrutan de mayor visita. Próxima a la zona del Cantón Mall, a no más de 30 minutos en vehículo, se encuentran otros centros comerciales como es el caso del Santa Rosa Mall y Plaza del Sol (construido posteriormente) tiene mayor volumen de visita. No se puede olvidar que aquellos centros comerciales con ofrecimientos más

atractivos son los que pueden sobrevivir. A pesar de que el Cantón Mall atendía a la población humilde, la disminución de los locales debido a la crisis económica han contribuido a espacios en desuso en su interior.



Figura 4.2.1.1: Gráfica que muestra localización del Cantón Mall con respecto a otros centros comerciales.

#### 4.2.2 Apariencia y ofrecimiento

Como mencionado previamente, el aspecto aislado de centro comercial desconecta al usuario del contexto urbano del centro del pueblo de Bayamón. Es una tipología comercial importada, la cual se beneficia de proveer zonas comerciales en zonas aisladas, que solo son accesibles por vehículo y que no poseen la posibilidad de interacciones con zonas próximas. Las áreas de circulación para los usuarios se encuentran en el centro del edificio y los comercios próximos a su alrededor. Esto fuerza a que las zonas de almacenamiento se

coloquen en la periferia del edificio, produciendo fachadas ciegas. Estas características no aprecian las tipologías caribeñas disponibles.

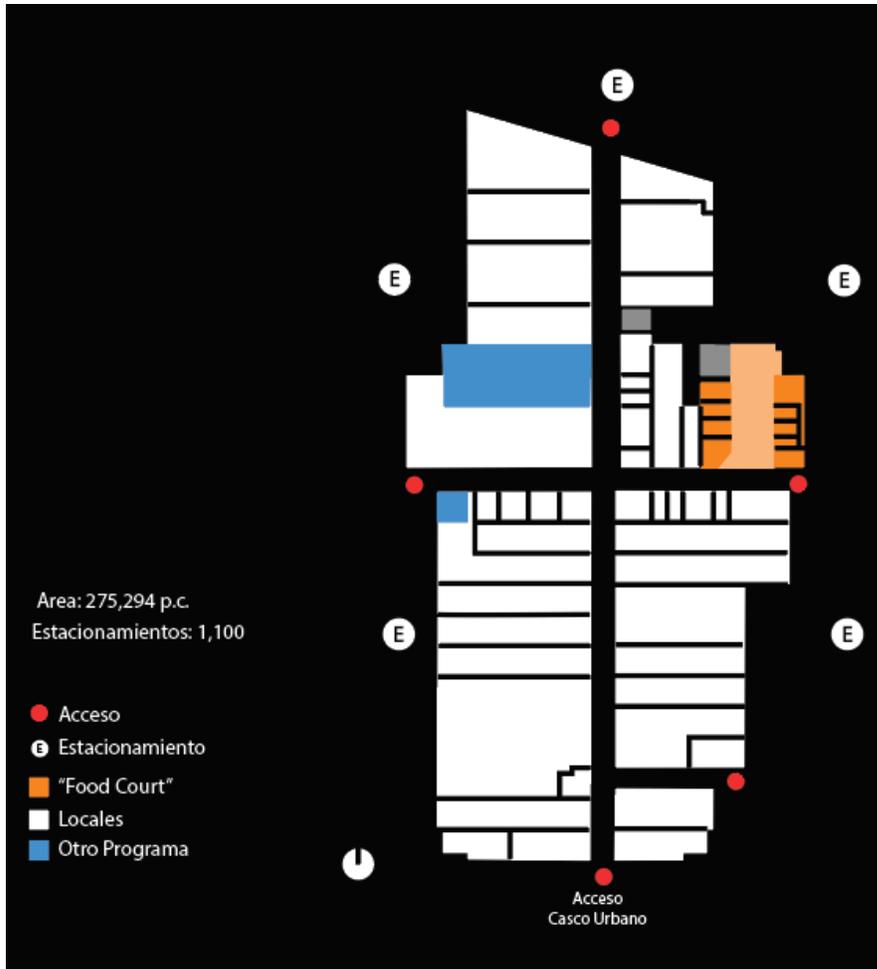


Figura 4.2.2.1: Gráfica que muestra tipología organizacional del Cantón Mall en planta. Trabajada por el autor.

### 4.2.3 Cambios en el paradigma de compra

Cuando se desarrolló el Cantón Mall, los centros comerciales eran el vehículo más atractivo para hacer compras. Una combinación de proximidad y variedad el cual facilitaba la adquisición de los productos. Con el pasar de los años y nuevos avances tecnológicos estas tendencias fueron cambiando. En el diagrama 4.2.2.1 se muestra la recopilación de datos realizada por "Statista" durante el 2017 donde muestra la comparación en porcentaje de encuestados según la su generación, como método de preferencia para hacer las compras. La

tendencia encontrada es que aquellas generaciones más jóvenes prefieren comprar en línea versus asistir de manera presencial para adquirir un artículo. Esto afecta a largo plazo el volumen de venta de espacios comerciales tradicionales ya saturado en la zona en la zona Metro.

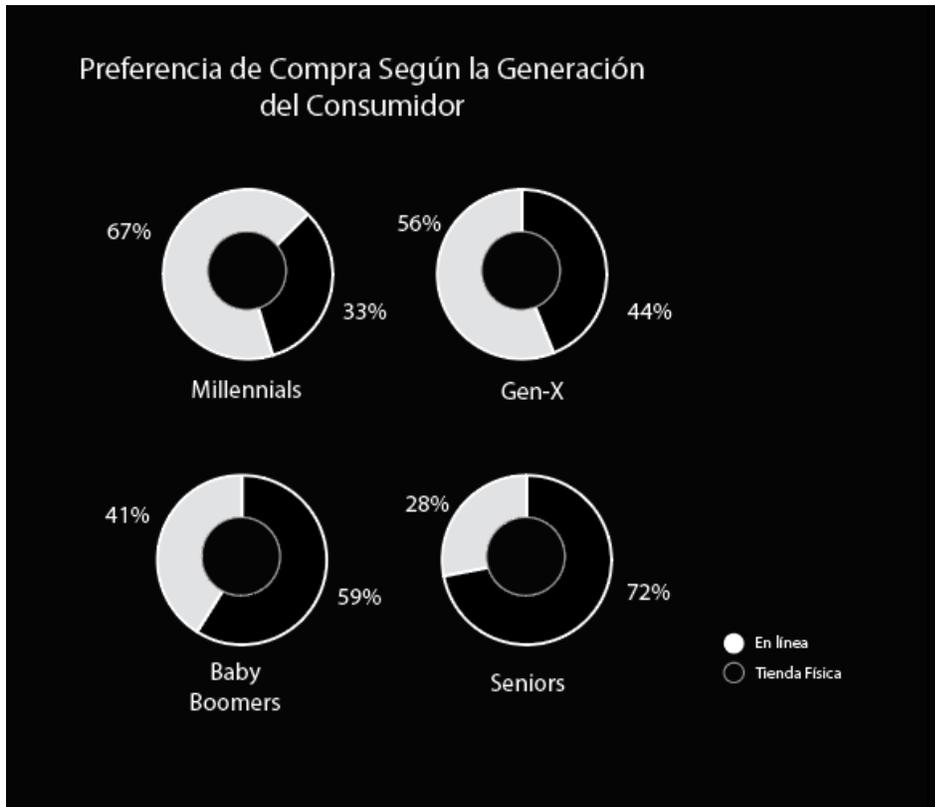


Figura 4.2.3.1: Gráfica que deriva la información de las poblaciones de edades y su preferencia para ejecutar la compra. Datos obtenidos de “Statista”. Diagramación

### 4.3 Nuevo acercamiento al emplazamiento

El proyecto construido del Cantón Mall exhibe acercamientos al programa comercial inherente que están irresueltos u obsoletos. Por otro lado, su disposición urbana no explota al máximo su relación con la forma urbana. Durante el proceso de investigación, se encontró el esbozo de una propuesta para este mismo solar trabajada por el arquitecto Jesús Amaral en el Archivo de Arquitectura y Construcción de la Universidad de Puerto Rico (AACUPR). Se desconocen las condiciones en las que se trabajaron dicha propuesta y hasta qué punto se

intentó desarrollar. No obstante, la propuesta del arquitecto Amaral exhibe una sensibilidad singular adherida a factores culturales locales que logra conjugar relaciones de integración con el entorno, la inclusión de programas diurnos y nocturnos para activar las zonas adyacentes al proyecto, la utilización de elementos naturales y topográficos. Todos estos recursos apuntaban a una experiencia más completa y humanizante, si se compara con el proyecto resultante. A continuación, se muestran una serie de “vignettes” de las ideas en la propuesta de Amaral. (ver figuras 4.2.1 y 4.2.2)



Figura 4.2.1: Fragmento de esbozo resaltando un contexto natural (cortesía de AACUPR Colección: Jesús Eduardo AMARAL, Serie: Dibujos arquitectónicos)

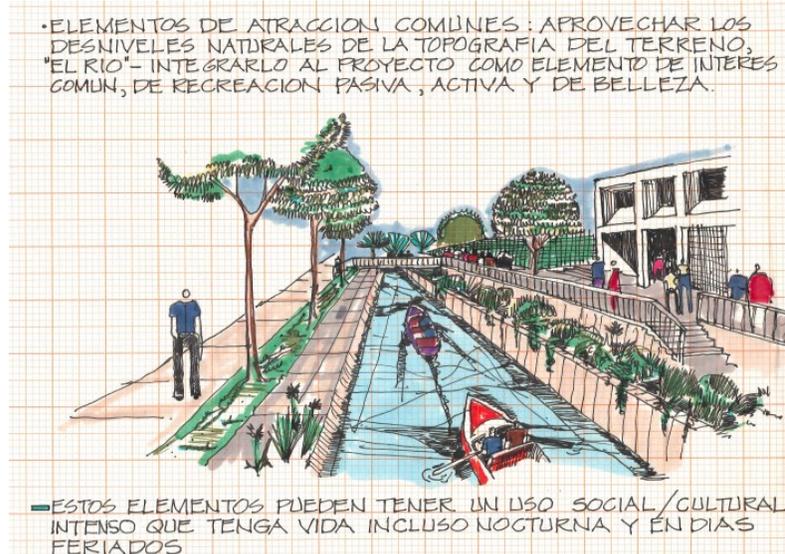


Figura 4.2.2: Fragmento de esbozo con elementos de plaza (cortesía de AACUPR Colección: Jesús Eduardo AMARAL, Serie: Dibujos arquitectónicos)

Como se puede percibir en los fragmentos o “vignettes” presentados, el acercamiento propuesto por el arquitecto Jesús E. Amaral buscaba el establecer una explícita relación peatonal entre el casco urbano y el proyecto. Esta interacción, servía como propiciación de una relación de beneficio mutuo entre el local y el casco urbano. Es decir, la actividad servía a la ciudad, de la misma manera que nutría la experiencia interior del centro a través de sus programas y de la masa de usuarios en interacción. Interesantemente, el Arq. Amaral planteaba una experiencia balanceada de programas exteriores e interiores.

Además de estas condiciones, se buscaba proveer los espacios de circulación expuestos para permitir elementos de ventilación e iluminación natural para disminuir la carga energética del proyecto. Otro elemento que se exploró fue la flexibilidad del uso del espacio comercial. Los elementos estructurales se pudieran adaptar a las necesidades programáticas según se transforman sus requisitos en el tiempo. Si se observan los planteamientos de la propuesta de Amaral, se podrán establecer vínculos con los acercamientos propuestos de esta investigación, en especial con el objetivo que busca flexibilizar los sistemas de iluminación propuestos para los usos contenidos en el proyecto.

#### **4.4 Cambio de prioridades y requisitos espaciales**

Durante el año 2020 la pandemia del Coronavirus azotó a todo el mundo. Debido a esto, comenzaron a trabajar nuevas prácticas de cómo se deben manejar las masas de personas en los diferentes espacios. Según un artículo publicado en la página web “El país” titulado “El mayor riesgo se da en espacios cerrados y abarrotados, salvo si la ventilación es eficiente” demuestra que existe mayor exposición al contagio en comercios pequeños y

encerrados (Javier Salas, 2020). Aquellos lugares con poco pietaje y que se encontraban en espacios encerrados, se vieron afectados por la disminución de la cantidad de usuarios que tenían permitido para visitarlos. Esto trajo un efecto directo en la economía de esos locales. El actual Cantón Mall sigue la tipología donde los comercios ocurren de manera interna. El crear espacios híbridos donde existan variabilidad entre zonas internas y externas, no solo enriquecería la experiencia del usuario, sino que permitiría un ambiente más seguro contra este y otras futuras enfermedades que pudieran surgir, especialmente en zonas urbanas donde existe una alta densidad poblacional.

#### **4.5 Desarrollo del concepto arquitectónico**

El diseño se basa en un desarrollo privado por parte de los actuales dueños del Cantón Mall en colaboración con el municipio de Bayamón, donde se maximiza la eficiencia de la utilización del solar, mientras se aporta una mejor experiencia urbana a los residentes de Bayamón. La propuesta comienza por la demolición del antiguo edificio y remoción de los estacionamientos. A pesar de que se puede ver como una decisión invasiva, el Cantón Mall no se percibe como una obra arquitectónica de importancia. Su tamaño supera la escal existente de los edificios existentes. Su proximidad al centro urbano y también a puntos de transportación importantes como el Tren Urbano y el terminal de autobuses lo hace, un solar privilegiado para desarrollar una propuesta más sensible al contexto inmediato. Según el “Reglamento Conjunto para la evaluación y expedición de permisos relacionados al desarrollo, uso de terrenos y operaciones de negocios” el solar se considera como “comercial intenso” (2019). Según esta clasificación en el caso de manzanas es posible utilizar el 100% del solar y en cuanto a uso no existentes restricciones notables para el desarrollo del proyecto.

Se planifica un plan maestro donde se organizan en la periferia del solar una serie de edificios de “ocupación simple”, los cuales mantienen una escala similar a los propios del antiguo centro urbano de Bayamón. Para propósito del proyecto se mantienen como edificios sugeridos para futuro desarrollo. Estos edificios completan el trazado urbano existente. Lumínicamente, esto se convierte en un perímetro de iluminación nocturna provista por los comercios y otras fuentes de iluminación que asistirían durante la noche. Conceptualmente se crea este recinto perimetral que funciona como transición entre el antiguo dentro urbano del municipio y la nueva propuesta. La nueva propuesta se convierte en el edificio central de la cuadra desarrollada.

Desde la perspectiva de las narrativas lumínicas se presentan dos acercamientos. Primeramente, la experiencia del usuario en cuanto a su recorrido desde una iluminación convencional producto del centro urbano la cual se transforma en una más diversa y atractiva al cruzar este perímetro de edificios a través de las vías de circulación peatonal provistas. A partir que te adentras en la cuadra, existe un parque que separa y continua la transición al interior del proyecto dotado de vegetación y áreas de esparcimientos, actualmente no presentes en el casco urbano. Comienza una separación entre el pasado de Bayamón y el futuro a través del edificio propuesto.

El segundo acercamiento ya proviene el edificio en sí donde el programa contiene exhibiciones que en cierta medida narran historia perteneciente a Bayamón La transición del día que va moldeando la piel se convierte en la narrativa hacia el pueblo de Bayamón. Esto incluye las diferentes actividades que comienzan a modificar cómo se percibe y la iluminación que utiliza.

El programa del edificio propuesto se nutre parcialmente del programa existente del Cantón Mall, compuesto comercios de pequeña escala, restaurantes y una oficina de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. Analizando la inmediatez del solar se pudo percibir programas que podrían beneficiarse del desarrollo. Como visto en la figura 4.5.1, se puede percibir que hay varios programas institucionales y educativos como la Universidad Ana G. Méndez, la Biblioteca Municipal, El Colegio de Cinematografía, Artes y televisión, entre otros. Utilizando esta información como referencia se entiende que el proyecto debe ser más que un centro comercial. Se presenta la oportunidad de integrar el programa cultural en la propuesta en el cual se incluye áreas de exhibiciones tanto permanentes como temporeras y actividades en el segundo y tercer nivel. A su vez se incluye zonas para conferencias ya sea para actividades independientes o relacionadas a las exhibiciones.

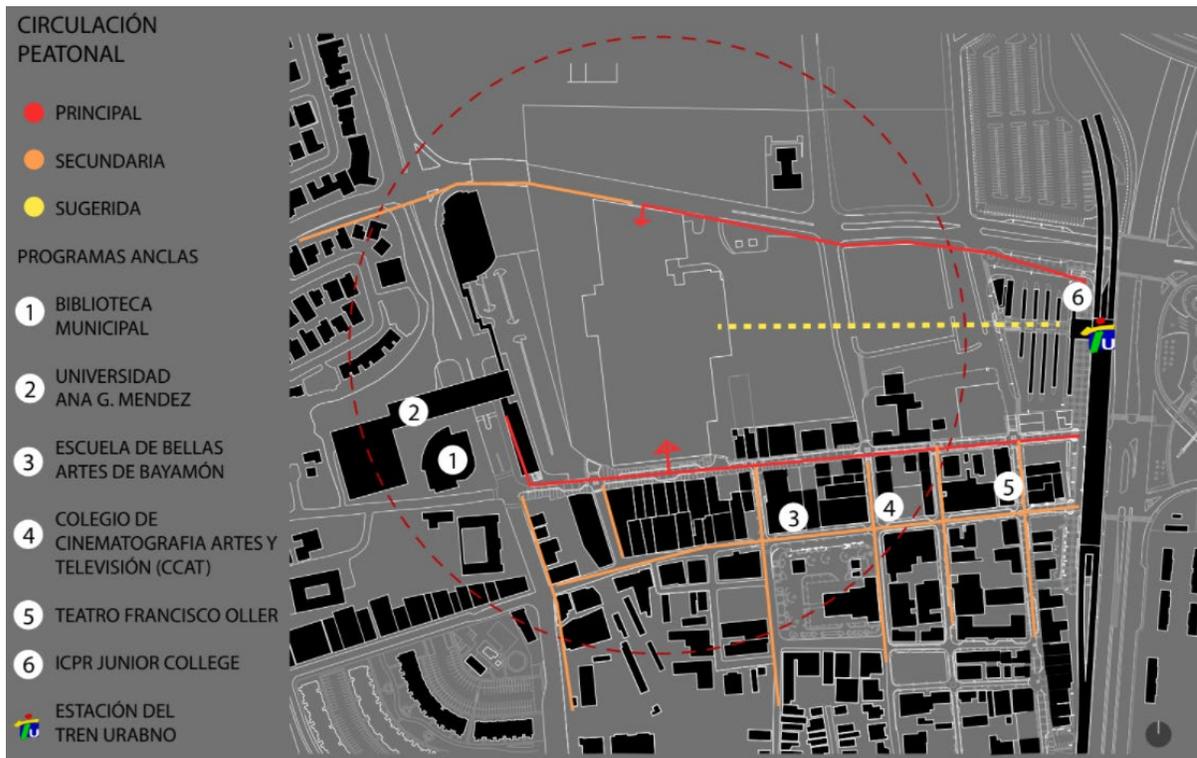


Figura 4.5.1: Diagrama sobre posibles circulaciones peatonales actuales y programa relevante para el desarrollo del proyecto.

#### 4.6. Dibujos y perspectivas del proyecto

Como parte de esta tesis se trabajaron una serie de dibujos que explican cómo se encuentra diseñado y cómo se percibiría. Primeramente se muestra un estudio del efecto del techo reflectivo a diferente distancia del edificio desde una distancia entre 50' a 200' a la altura de una persona de 5' de alto con el fin de definir la zona del solar de donde se percibiría mejor el proyecto desarrollado (véase figura 4.6.1).

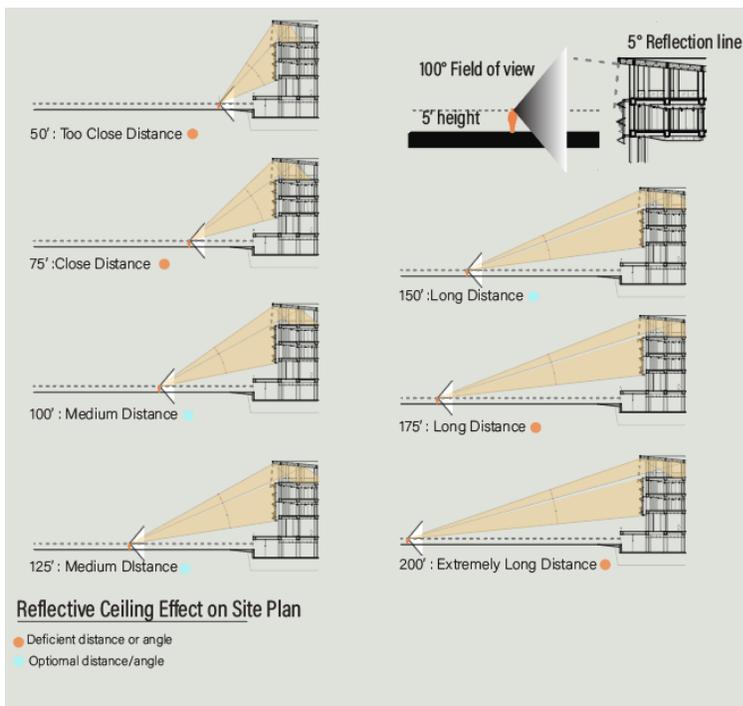


Figura 4.6.1: Estudio de perspectiva humana en donde se muestra que entre 100'-150' es la distancia recomendada para percibir el edificio.

La figura 4.6.2 muestra una serie de elevaciones del proyecto. La elevación incluye una escalinata que enfatiza la conexión propuesta entre el tren urbano y el proyecto. La elevación sur y norte son simétricas en construcción, pero debido a que están compuestas por el sistema automatizado en la fachada y tendrán programas diferentes, se puede sobreentender que durante su vida nunca tendrán la misma configuración de piezas abiertas y cerradas.

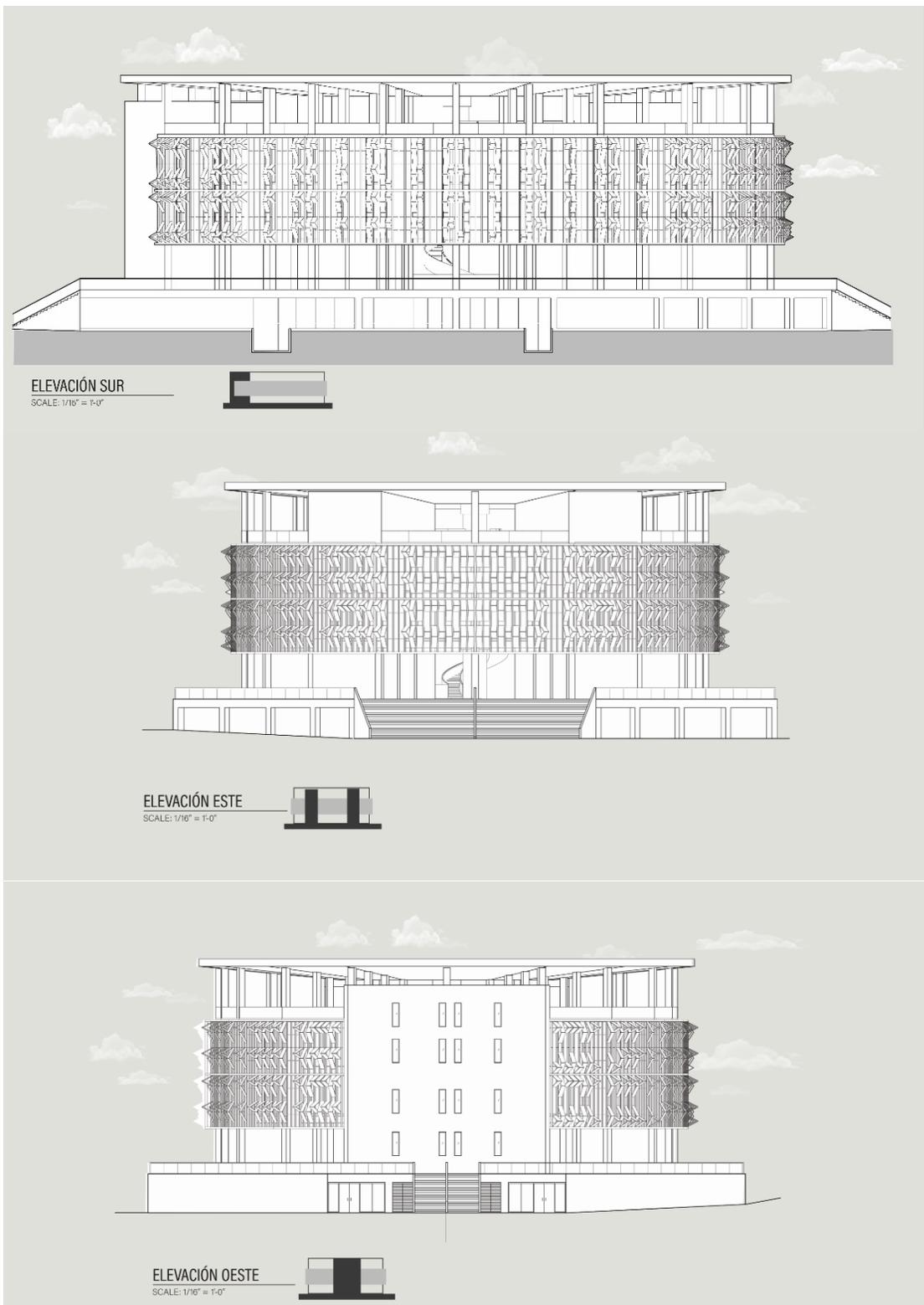
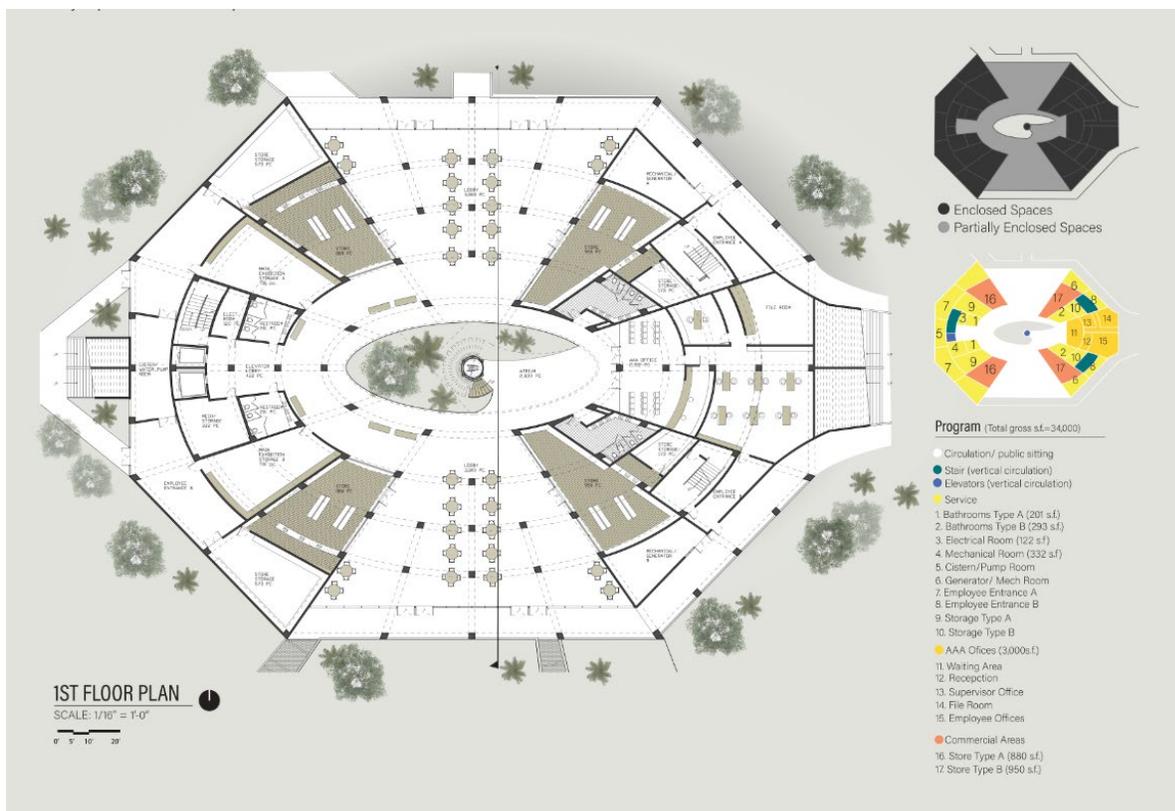
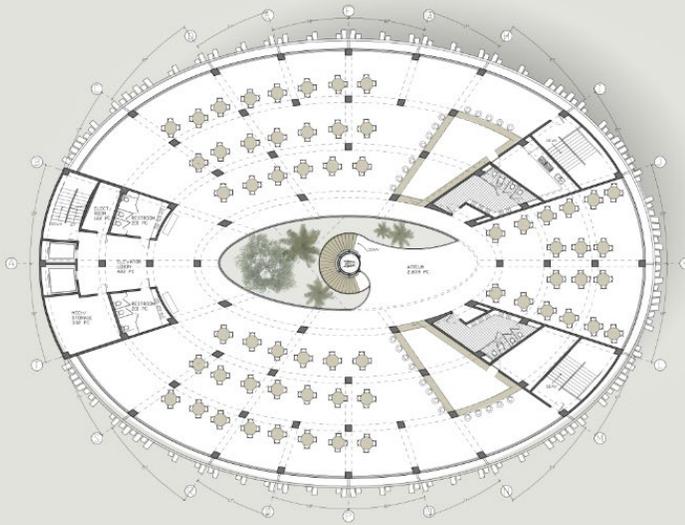


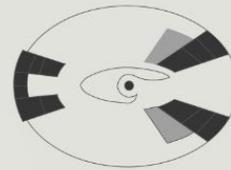
Figura 4.6.2:  
Elevaciones  
del proyecto.

A continuación, se muestran las plantas de los diferentes niveles del proyecto. La primera planta se encuentra semi soterrada con el fin de disminuir la escala del edificio. En este nivel se encuentran mayormente áreas de servicio. No obstante, cuenta con la oficina de la AAA y algunos comercios. Funge de conexión directa con la circulación peatonal que te lleva al centro urbano. La planta del segundo nivel funciona como planta mayormente libre con áreas públicas y también cuenta con comercios. EL tercer y el cuarto nivel, son los niveles protagonistas del programa debido a que se encuentran las de exhibiciones y conferencias. Son las que presencian desde el interior. El comportamiento de la piel. Dicha piel está controlada por dos cuartos por nivel que controlan de manera independiente la parte norte y sur del edificio. Por último, el quinto nivel funciona como una terraza que te permite tener una vista de 360 grados de Bayamón. Contiene Programa de restaurantes y se pueden separar los espacios para llevar a cabo actividades como celebraciones de universidades.

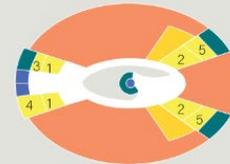




**5TH FLOOR PLAN**  
 SCALE: 1/16" = 1'-0"  
 0 5 10 20'

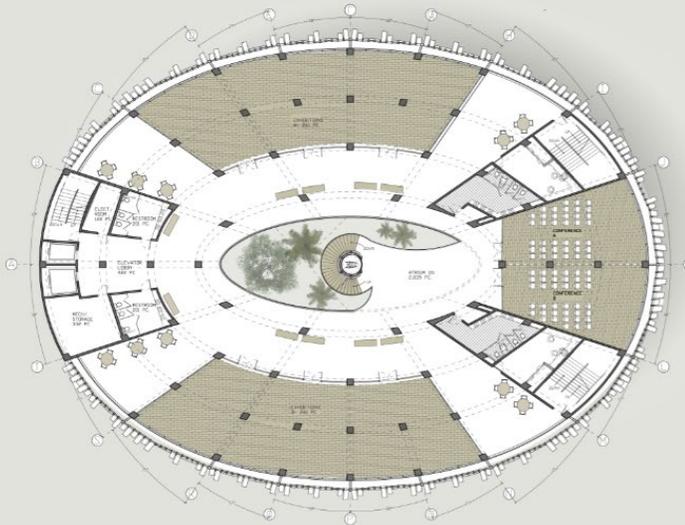


● Enclosed Spaces  
 ● Partially Enclosed Spaces



**Program** (Total gross s.f.=19,200)

- Circulation/ public sitting
- Stair (vertical circulation)
- Elevators (vertical circulation)
- Service
- 1. Bathrooms Type A (201 s.f.)
- 2. Bathrooms Type B (293 s.f.)
- 3. Solar System Battery Room (122 s.f.)
- 4. Mechanical Room (332 s.f.)
- 5. Kitchen(172 s.f.)
- Bar Area (500 s.f.)
- Restaurant and Activities Area (11070 s.f.)



**3RD & 4TH FLOOR PLAN**  
 SCALE: 1/16" = 1'-0"  
 0 5 10 20'

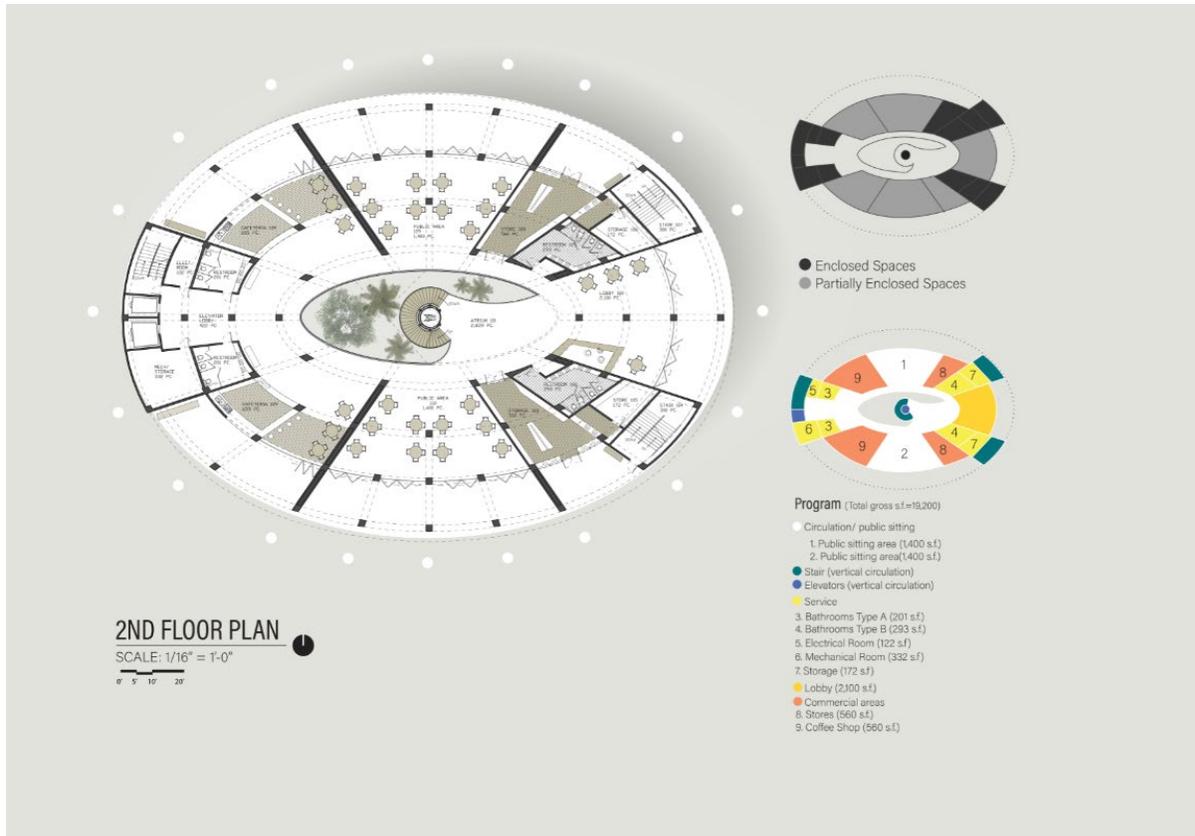


● Enclosed Spaces  
 ● Partially Enclosed Spaces

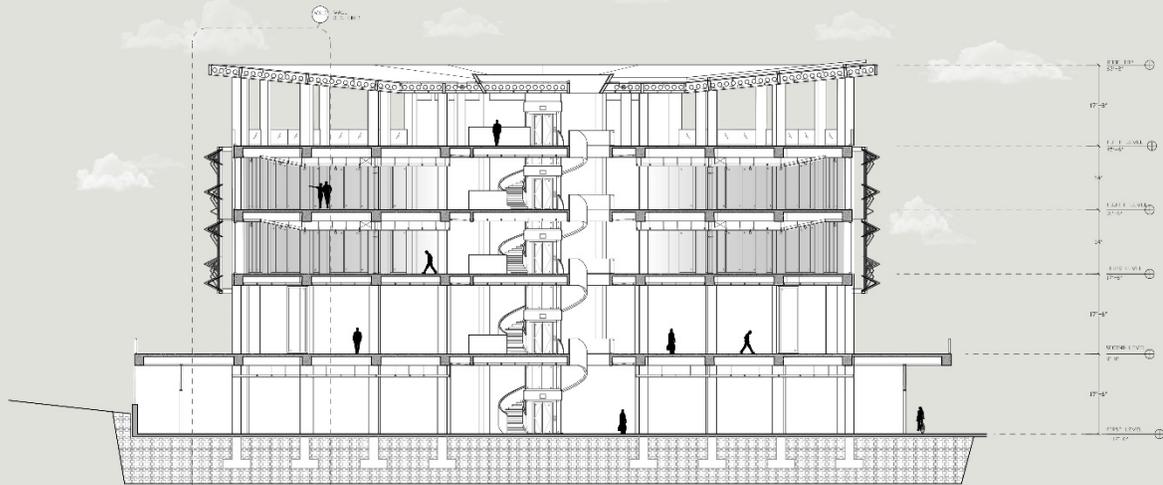


**Program** (Total gross s.f.=19,200)

- Circulation/ public sitting
- Stair (vertical circulation)
- Elevators (vertical circulation)
- Service
- 1. Bathrooms Type A (201 s.f.)
- 2. Bathrooms Type B (293 s.f.)
- 3. Electrical Room (122 s.f.)
- 4. Mechanical Room (332 s.f.)
- 5. Skin Control Rooms
- Conference Rooms (2,100 s.f.)
- Exhibition Area (2,978 s.f.)

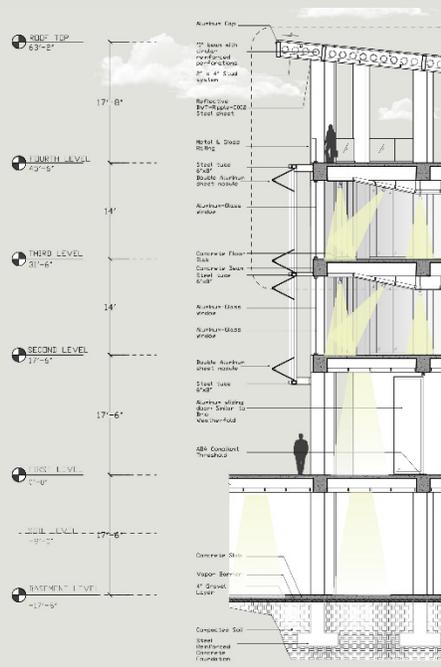


En el caso de las secciones se muestra un corte del edificio de norte a sur donde se diagrama el contraste de los diferentes niveles unificados por el atrio central, el elevador panorámico y la escalera en espiral. La estructura se considera como hormigón reforzado con acero. Se puede percibir como el recubrimiento autoadaptable ocurre en la tercera y cuarta planta del edificio. El techo es compuesto por unas vigas metálicas para que sean más livianas, y faciliten la construcción del techo en pendiente.



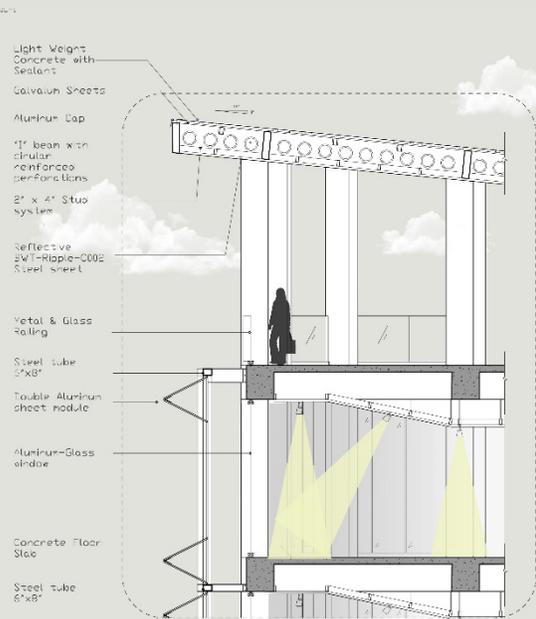
**SECCIÓN A**

SCALE: 1/16" = 1'-0"



**WALL SECTION**

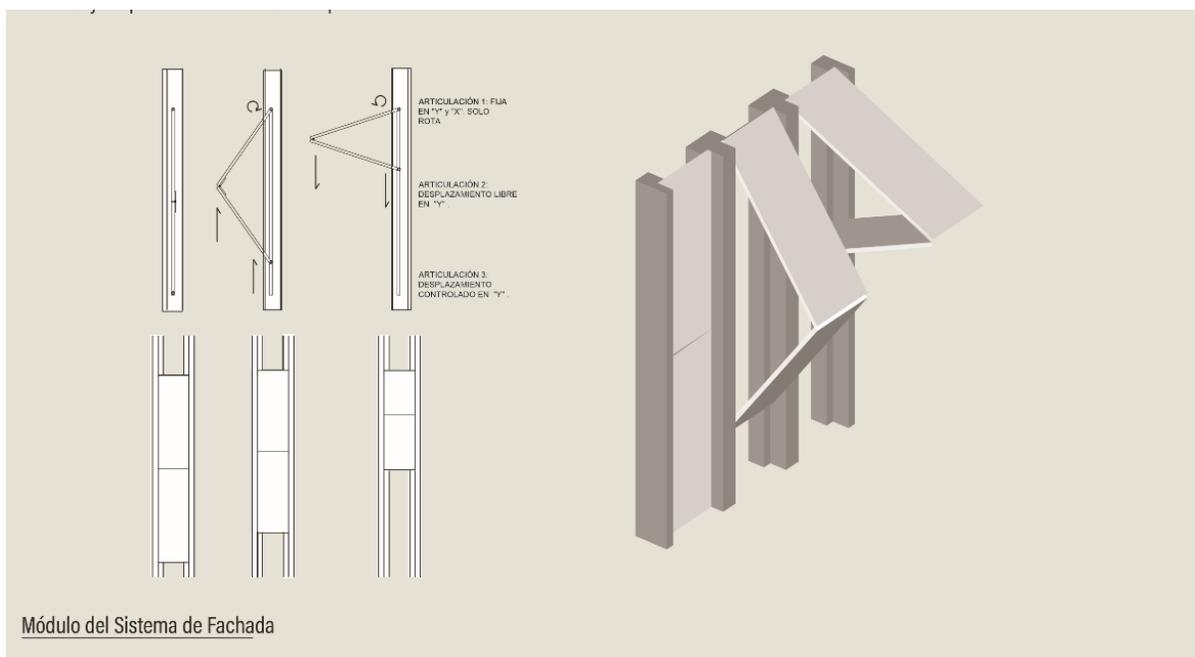
SCALE: 3/32" = 1'-0"



**DETAIL-1**

SCALE: 3/16" = 1'-0"

En el caso del módulo utilizado para la piel autoresponsiva, se decidió utilizar una geometría que no estuviera compuesta por un mecanismo complejo, como fue el caso de estudio del Mundo de Cultura Árabe, con el fin de minimizar la necesidad del mantenimiento. Los módulos están compuestos por un marco en acero que funciona como estructura principal y dos paneles de laminas de aluminio que forman la cara frontal. Este módulo está compuesto por tres articulaciones. La que se encuentra en la parte superior solo permite rotación, pero no se desplaza verticalmente. La central es una articulación con estilo de gozne y es la responsable de enlazar ambas planchas de aluminio permitiendo que doblen en su centro. Por último la articulación inferior permite el desplazamiento vertical y es responsable de que se pueda abrir o cerrar la pieza para modular la iluminación.



## 4.7 Decisiones de Sustentabilidad

Como parte del desarrollo del proyecto se trabajaron estrategias para disminuir el impacto ambiental del funcionamiento del edificio. Para la disminución del consumo energético se utilizaron placas fotovoltaicas con el fin de generar energía eléctrica para el edificio. El área propuesta para dicho sistema cubre unos 8880 pies cuadrados aproximadamente. Este espacio brinda el espacio para 592 placas solares aproximadamente de tamaño 5'x 3'. Este sistema podría producir hasta unos 207,200 watts por hora tomando en consideración que los paneles podrían generar “350w por hora” (Vikram Aggarwal, 2021). Para comprender la localización del sistema eléctrico y paneles solares, referirse a la figura 4.7.1.

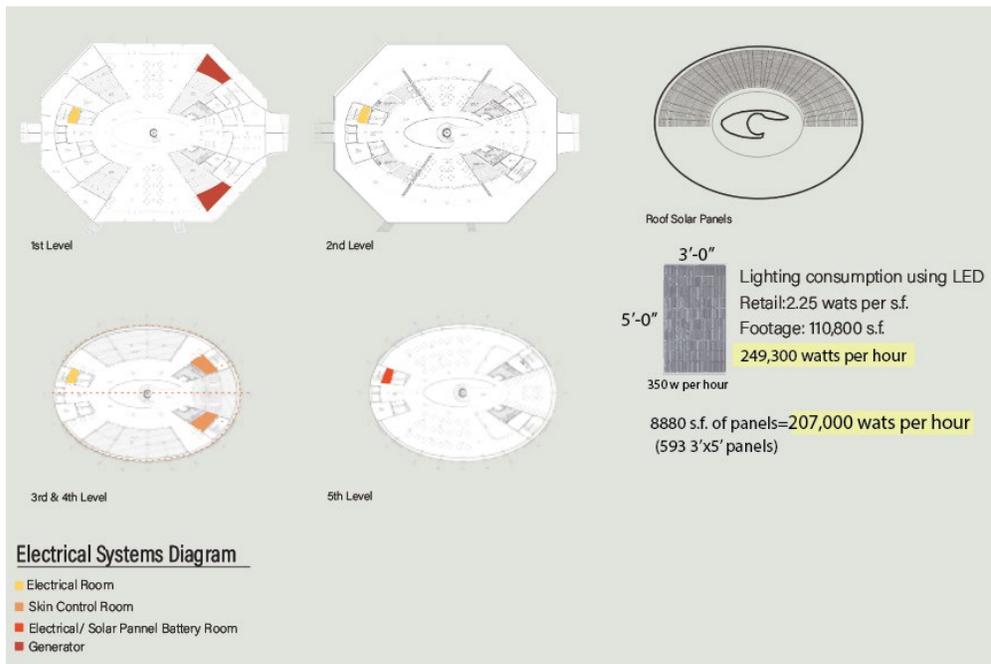


Figura 4.7.3: Diagrama sobre el sistema eléctrico y cálculo de los paneles

Por otro lado para disminuir la necesidad de agua del sistema centralizado de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), se optó por diseñar el techo de manera que la pendiente diera hacia el atrio central. Dicho techo tiene un área total de

aproximadamente 19,200 pies cuadrados. Según datos obtenidos de la página *Climate-data.org* (ver figura 4.7.2), se encontró que el promedio de precipitación mensual del municipio de Bayamón es de unas 5.9 pulgadas. Utilizando esta información se puede calcular que el agua potencialmente recolectada sería de uno 71,366.4 galones mensuales. Para el proyecto se optó por una cisterna de 6,400 pies cúbicos (capacidad de 47,900 galones ) la cual tendría una dimensiones de 20' x10'x 8' y estaría localizada en el primer nivel, donde ubica el cuarto de bombas (ver figuras 4.7.3 y 4.7.4 para ver diagramas del sistema).

## BAYAMÓN WE AVERAGES

	January	Febru
Avg. Temperature (°C)	23.7	23.7
Min. Temperature (°C)	19.4	19.4
Max. Temperature (°C)	28.1	28.1
Avg. Temperature (°F)	74.7	74.7
Min. Temperature (°F)	66.9	66.9
Max. Temperature (°F)	82.6	82.6
Precipitation / Rainfall (mm)	122	78

Figura 4.7.2: Tabla con precipitación promedio del municipio de Bayamón obtenida a través de Climate-data.org.

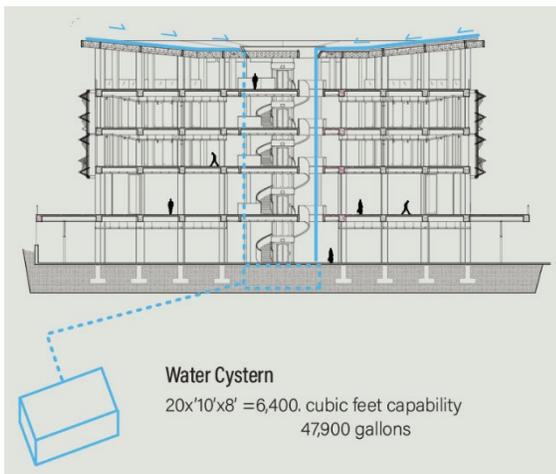


Figura 4.7.3: Diagrama en sección trabajado por el autor.

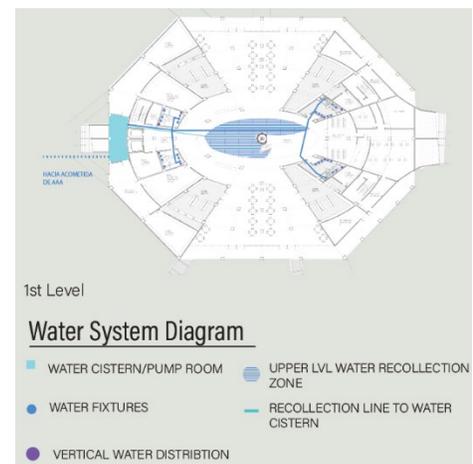


Figura 4.7.4: Diagrama planta primer nivel con localización de cisterna, trabajado por el autor.

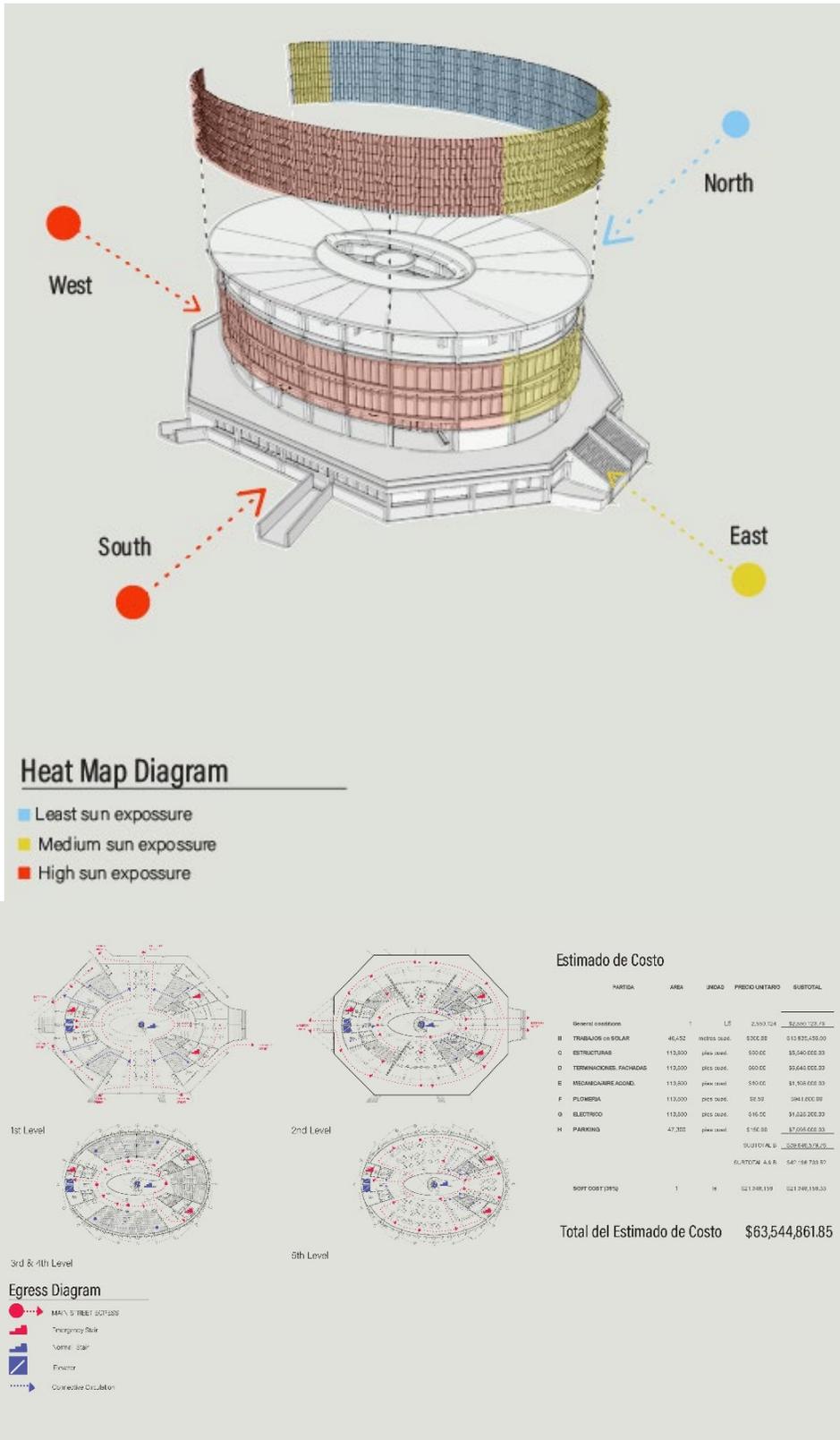


Figura 4.7.5: Diagrama sobre exposición solar en las fachadas según su localización.

Figura 4.7.6: Diagrama sobre medios de salidas y estimado general de costos.

## 4.8 Perspectivas del proyecto

A continuación, se mostrarán diferentes perspectivas del proyecto trabajadas por el autor.

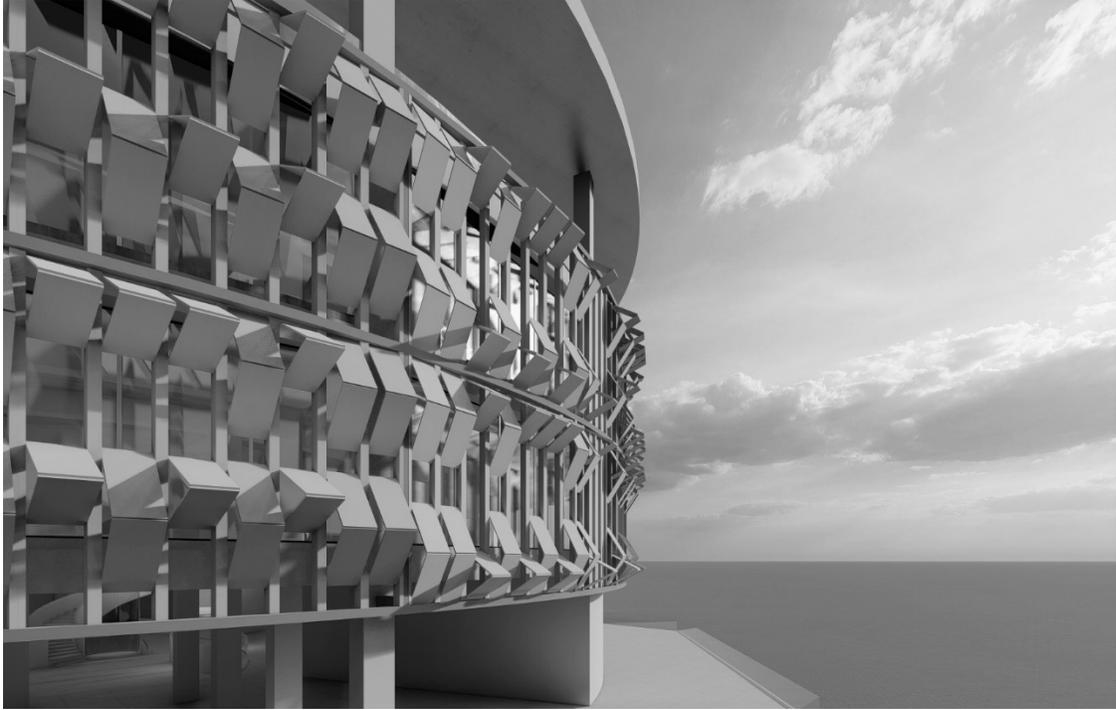


Figura 4.8.1:  
Visual de la  
fachada.



Figura 4.8.2:  
Café en el  
primer nivel



Figura 4.8.3:  
Comparación  
diurna y  
nocturna  
exhibición



Figura 4.8.4:  
Perspectiva de  
local  
comercial.



Figura 4.8.5:  
Perspectiva  
exterior.

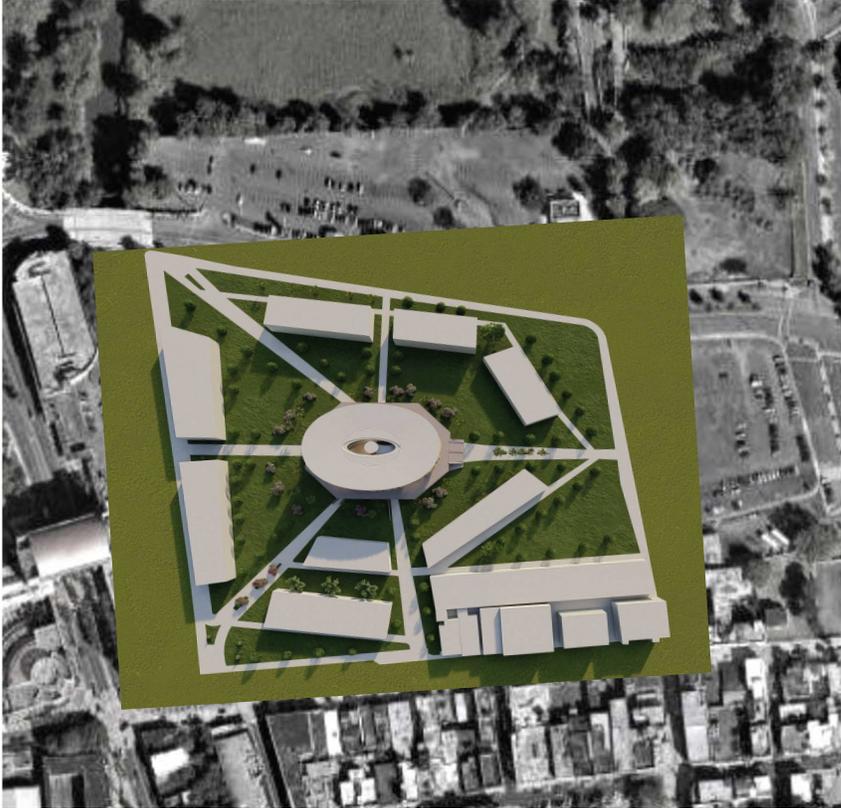


Figura 4.8.6:  
Superposición  
de propuesta en  
el solar



Figura 4.8.7:  
Perspectiva  
nocturna

## Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

Luego de hacer la investigación en sitio y trabajar la propuesta arquitectónica, se puede concluir que la iluminación es un gesto que trasciende los límites del edificio. Es imprescindible el tomarla en consideración desde temprano en el diseño para tanto emplear aspectos climatológicos que podrían beneficiar la toma de decisiones sustentables, como a su vez añadir una capa de profundidad a la experiencia del usuario. En un inicio se había considerado solo trabajar el edificio, pero una vez analizado el solar, se pudo percibir que la necesidad implementar decisiones a mayor escala era vital. La iluminación no se puede limitar solamente al edificio y su uso particular, sino atender el impacto que este puede tener en su contexto urbano. Una iluminación deficiente provoca dificultad y desinterés del usuario al empobrecer sus expectativas. Esto trae como efecto la declinación del volumen que los comercios pueden recibir.

Se recomienda no limitar el diseño a uno estático, sino aprovechar las tecnologías disponibles para nutrir el diseño. A pesar de que por el carácter del proyecto no se toman mediciones en diferentes tiempos del año, se invita a que estudie de fondo condiciones reales lumínicas ligadas a diferentes estaciones de años, horarios y factores climatológicos. como la lluvia. para llegar a desarrollar un producto que responda de manera eficiente a todas las condiciones. Como los sistemas automatizados aún se encuentran en evolución, se reconoce que hay que tomar en consideración su impacto económico tanto por su construcción, como el mantenimiento que deben tener estos sistemas.

Otro aspecto que todo proyecto debe incluir es la utilización de herramientas para disminuir su impacto en el ambiente. Como visto en el estudio de los paneles fotovoltaicos de

la propuesta, con el pietaje provisto de paneles solares puede cubrirse la mayoría del consumo asociado por iluminación del edificio. A su vez, se integró el sistema de recolección de agua, tanto como herramienta de diseño, como para funcionamiento del edificio. Sin duda es responsabilidad de la arquitectura crear espacios funcionales y estéticamente atractivos, pero no se debe desentenderse del aspecto de la sustentabilidad.

## Referencias:

2017. Online shopping preference in the United States as of 2017, by age group. Statista. <https://www.statista.com/statistics/242512/online-retail-visitors-in-the-us-by-age-group/> Acceso el 5 de diciembre de 2020.
- Anders, Valentín. 2001-2020. *Etimología de iluminar*. Etimologías de Chile. <http://etimologias.dechile.net/?iluminar#:~:text=La%20palabra%20iluminar%20viene%20del,del%20vocablo%20latino%20lumen%2C%20luminis>. Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Aggarwal, Vikram. 2021. *How much energy does a solar panel produce? Solar panel output explained*. Energysage. <https://news.energysage.com/what-is-the-power-output-of-a-solar-panel/#:~:text=Solar%20panels%20usually%20produce%20between,electricity%20usage%2C%20and%20maybe%20more!>. Acceso el 20 de mayo de 2021.
- Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico. *Pinceladas de Nuestra Historia*. AEEPR.com. <https://aeepr.com/es-pr/QuienesSomos/Paginas/Historia.aspx> Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Bayamón Climate(United States of America).Climate-data.org. <https://en.climate-data.org/north-america/united-states-of-america/puerto-rico/bayamon-715127/>. Acceso el 20 de mayo de 2021.
- Duque, Karina. 2013. *Clásicos de Arquitectura: Instituto del Mundo Árabe / Jean Nouvel*. Plataforma Arquitectura. ISSN 0719-8914. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel>. Acceso el 11 de octubre de 2020.
- H. Haidiri. 2018. *Decisive design aspects for designing a kinetic façade*. Structural Design, Eindhoven University of Technology, Holanda. [https://www.researchgate.net/publication/330349848\\_Kinetic\\_Architecture\\_Concepts\\_History\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/330349848_Kinetic_Architecture_Concepts_History_and_Applications). Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Hevia García, Guillermo. (2012). *Plataforma en Viaje: Cúpula del Reichstag, Norman Foster*. Plataforma Arquitectura. ISSN 0719-8914. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-133112/plataforma-en-viaje-cupula-del-reichstag-norman-foster>. Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Independence LED Lighting*. Independence. <https://independencedled.com/ashrae-watts-per-sq-ft/>. Acceso el 20 de mayo de 2021.
- Livingston, Jason. 2014. *Designing with Light: The Art Science and Practice of Architectural Lighting Design*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

- Maldonado Caro, Cristina. 2015. *LLEGO LA LUZ: La electrificación de Puerto Rico como medio de modernización*. Asociación Estudiantes Graduados de Historia, CEAPRC. <https://aeghcea.files.wordpress.com/2015/11/16-llegc3b3-la-luz-c-maldonado.pdf>. Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Reichstag, New German Parliament. Foster + Partners.* <https://www.fosterandpartners.com/projects/reichstag-new-german-parliament/>. Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Reichstag – The German Parliament | Foster and Partners.* arch2o. <https://www.arch2o.com/reichstag-german-parliament-fosterpartners/> Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Reglamento Conjunto para la evaluación y expedición de permisos relacionados al desarrollo, uso de terrenos y operaciones de negocios.* Junta de Planificación. <http://www.municipiodebayamon.com/wp-content/uploads/2019/06/REGLAMENTO-CONJUNTO-2019.pdf> Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Roquero, Eloísa. 2015. *Instituto del Mundo Árabe*. PLEXO, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. <http://www.fadu.edu.uy/viaje2015/articulos-estudiantiles/instituto-del-mundo-arabe/>. Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Salas, Javier. 2020. *El mayor riesgo se da en espacios cerrados y abarrotados, salvo si la ventilación es eficiente*. El País. <https://elpais.com/ciencia/2020-07-18/el-mayor-riesgo-se-da-en-espacios-cerrados-y-abarrotados-salvo-si-la-ventilacion-es-eficiente.html>. Acceso el 22 de mayo de 2021.
- Tomás Franco, José. 2013. *Las Torres Al Bahar y su fachada sensible, por Aedas Architects*. Plataforma Arquitectura. ISSN 0719-8914. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-226760/las-torres-al-bahar-y-sus-fachadas-sensibles-por-aedas-architects>. Acceso el 11 de octubre de 2020.
- United States Environmental Protection Agency. *Sources of Greenhouse Gas Emissions*. EPA.gov. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>. Acceso el 11 de octubre de 2020.
- Valero Ramos, Elisa. 2015. *Light in Architecture: The Intangible Material*. Londres: RIBA. ISSN 978-1859465967
- Welch, Adrian. 2020. *Al Bahar Towers, Abu Dhabi*. e-architect. <https://www.e-architect.co.uk/dubai/al-bahar-towers-abu-dhabi>. Acceso el 11 de octubre de 2020.