



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
**Análisis sintáctico de las ofertas de movimiento en el espacio
arquitectónico**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA
en el campo de conocimiento de Diseño Arquitectónico

PRESENTA:

Arq. Mariana Yollohtzin Tafoya García

TUTORA PRINCIPAL

Mtra. Taide Buenfil Garza

Facultad de Arquitectura, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Mtra. Claudia Gabriela Ortiz Chao

Facultad de Arquitectura, UNAM

Dra. María del Río Francos

ENES, Unidad Morelia, UNAM

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, Marzo 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Universidad Nacional Autónoma de México
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Campo de conocimiento de Diseño Arquitectónico

Presenta:
Mariana Yollohtzin Tafoya García

Tutora principal:
Mtra. Taide Buenfil Garza

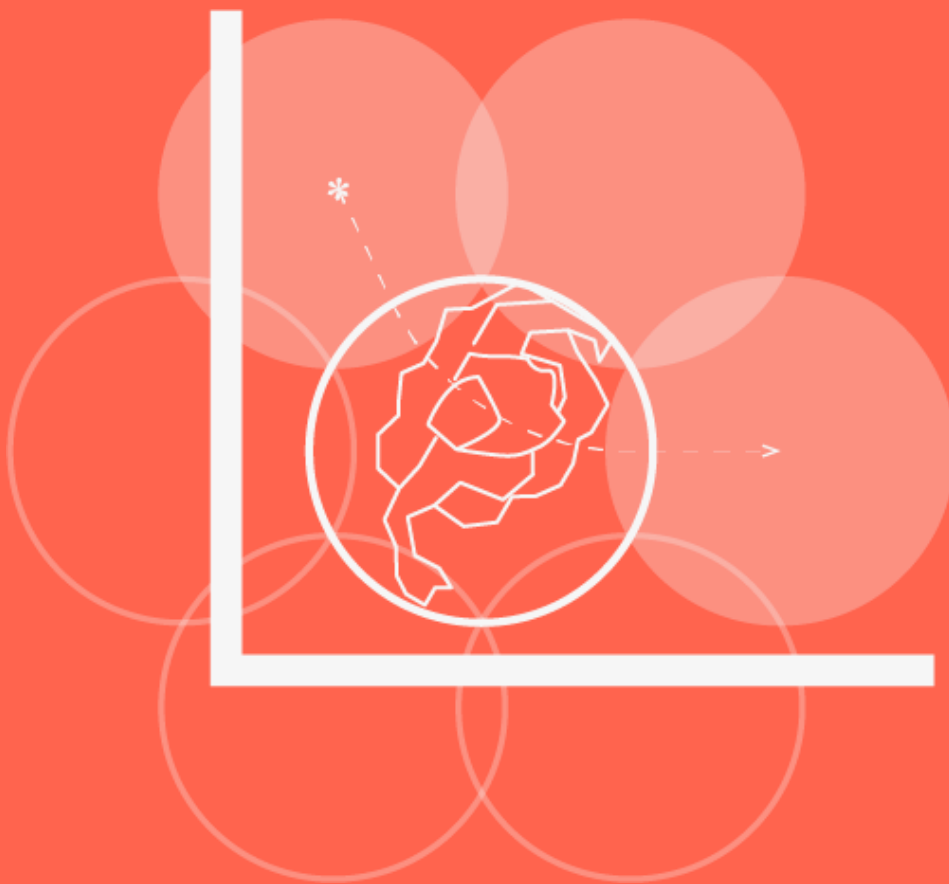
Comité Tutor:
Mtra. Claudia Gabriela Ortiz Chao
Dra. María del Río Francos

Taller de Investigación:
Ambiente y paisaje urbano arquitectónico
Mtro. Alejandro Cabeza Pérez
Mtro. Alejandro Marambio Castillo

Sínodo:
Mtra. Taide Buenfil Garza
Mtra. Claudia Gabriela Ortiz Chao
Dra. María del Río Francos
Dra. Karina Contreras Castellanos
Dr. Eric Orlando Jiménez Rosales

Ciudad de México
Marzo 2023

Análisis sintáctico de las ofertas de movimiento en el espacio arquitectónico



Resumen

La investigación busca entender si las características del espacio arquitectónico inciden o no en los patrones de tránsito y estadía que ocurren al interior de las habitaciones. El proyecto se inserta dentro de una línea de investigación conocida como “sintaxis espacial” que trata de integrar una teoría analítica que aproveche métodos cuantitativos para establecer relaciones de mutua influencia entre la configuración del espacio y el desarrollo de las actividades humanas (Hillier et al., 1976). Después, profundiza en la aplicación que se ha hecho de la teoría matemática de grafos dentro del análisis espacial y los límites con los que se encuentra para resolver el problema propuesto. Para superar esos límites, se plantea un marco de interpretación de las técnicas de análisis espacial basado en el concepto de las ofertas ambientales, capaz de explicar las restricciones naturales que el medio impone a las actividades humanas. El resultado de la investigación es la propuesta de un nuevo modelo de análisis, construido específicamente para describir las restricciones que los objetos arquitectónicos y no arquitectónicos imponen sobre las posibilidades de movimiento de las personas. En el último capítulo, el modelo es aplicado al estudio de dos museos de la Ciudad de México, mostrando algunas regularidades entre la configuración arquitectónica de cinco salas y en la subsecuente organización de las exhibiciones.

Palabras clave: modelo de análisis espacial, ofertas de movimiento, teoría de grafos, espacios de exhibición.

A mi mamá en la Tierra
y a mi papá en el Cielo

Agradecimientos

A mis tutoras y mis profesores del taller de investigación, por cada uno de los valiosos comentarios que me han hecho. Sus palabras resonaban como un eco cada vez que me enfrentaba a la redacción de este documento.

A los profesores y compañeros con los que coincidí a lo largo del programa, por prestarse a una conversación diversa sobre la arquitectura en la que mi proyecto encontrara su lugar.

A los organizadores del Simposio *Formal Methods in Architecture*, por acogerme en su diálogo y acercarme a autores y conceptos a los que me habría tomado otro par de años llegar por mi cuenta.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de maestría, así como al Programa de Apoyo a Estudios de Posgrado, que con su apoyo me impulsó a exponer los avances de la investigación ante un foro especializado en el tema.

A Ramiro Chávez, por permitirme revisar su registro fotográfico de las exhibiciones.

A todos los que prestaron su generosa atención a la lectura de alguno de mis borradores.

Índice

Introducción	v
Índice de cuadros y gráficos	xii
CAPÍTULO 1. DISEÑO DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO	1
1.1 Componentes del espacio arquitectónico	
1.1.1 Espacio físico	
1.1.2 Espacio percibido	
1.1.3 Espacio social	
1.1.4 Espacio arquitectónico	
1.2 Motivaciones y límites del diseño arquitectónico	
1.3 El estudio del orden espacial	
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL ESPACIO Y EL MOVIMIENTO	19
2.1 Representación gráfica del espacio	
2.2 Modelos de análisis espacial	
2.2.1 Mapas convexos	
2.2.2 Mapas axiales	
2.2.3 Isovistas y polígonos de proyección	
2.2.4 Análisis de grafos de visibilidad	
2.3 Registro del movimiento en el espacio	
2.3.1 Manual de observación de Space Syntax	
2.3.2 Simulación por medio de agentes	
2.3.3 Registro asistido por medios electrónicos	
2.4 Interpretación de los modelos de análisis espacial	

CAPÍTULO 3. OFERTAS DE MOVIMIENTO EN EL ESPACIO ARQUITECTÓNICO	67
3.1 Introducción al concepto de ofertas ambientales	
3.2 Composición de los entornos habitables	
3.2.1 Elementos arquitectónicos	
3.2.2 Elementos mobiliarios	
3.2.3 Elementos circunstanciales	
3.2.4 Construcción estratificada del ambiente	
3.3 Ofertas representadas en los modelos de análisis espacial	
3.4 Propuesta de tipificación de las ofertas de movimiento	
3.4.1 Ofertas de acceso	
3.4.2 Ofertas de ocupación y alojamiento	
3.4.3 Ofertas de orientación y navegación	
3.4.4 Ofertas de exploración	
CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE UN NUEVO MODELO DE ANÁLISIS	89
4.1 Prefiguración del modelo	
4.2 Objetos y relaciones elementales del modelo	
4.3 Representación gráfica y matemática del modelo	
4.4 Interpretación de las estructuras elementales	
4.5 Estructuras complejas	
CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DE LA PROPUESTA EN SALAS DE EXHIBICIÓN	113
5.1 El museo como objeto de investigación	
5.1.1 Estudios previos desde la perspectiva de la psicología	
5.1.2 Estudios con técnicas de análisis espacial	
5.2 Presentación de los casos de estudio	
5.2.1 Museo Jumex	
5.2.2 Museo Universitario Arte Contemporáneo	
5.3 Implementación del modelo de análisis propuesto	
5.3.1 Evaluación gráfica de las valencias	
5.3.2 Construcción de la base de datos	
5.3.3 Representación de los obstáculos	
5.3.4 Valencias en primer grado	
5.3.5 Valencias en segundo grado	
5.4 Resultados del ejercicio	
Conclusiones	169
Referencias	
APÉNDICE I. Levantamiento fotográfico de los casos de estudio	
APÉNDICE II. Glosarios	

Introducción

¿Cuál es el trabajo de un arquitecto en tanto diseñador? Partimos aquí de la comprensión de que el espacio arquitectónico se conforma por un sistema complejo de relaciones entre el ámbito material (objetos que ocupan el espacio físico), el ámbito psíquico (colecciones de estímulos que dan lugar a nuestra experiencia sensorial) y el ámbito social (adaptación de realidades culturales). Entre estas tres dimensiones del espacio, pensamos que el arquitecto solamente puede decidir sobre la primera, esto es, la dimensión física del espacio. Para ello, se vale de herramientas técnicas y de representación propias de su práctica, de manera que pueda anticipar y especificar los atributos físicos de aquello que existirá en el mundo material.

Sin embargo, un profesional del diseño, no solo espera que el objeto exista, sino que asume cierta responsabilidad sobre la manera en que este puede ser experimentado por las personas de manera individual y de manera colectiva. Un arquitecto entiende que el resultado de su propio trabajo fungirá como un espacio para vivir y como testimonio de un momento en la vida cultural de la humanidad. Cuando el arquitecto diseña, lo hace para intervenir el *espacio arquitectónico* en toda su complejidad.

Por eso, es imprescindible que el arquitecto entienda las relaciones que mantiene el espacio físico, ámbito de su competencia, con el espacio psíquico y el espacio social, motivo de su práctica. Si el diseñador cuenta con un aparato teórico y crítico adecuado, entonces tendrá alguna oportunidad de afectar (aún si no puede determinar) los sucesos de devienen naturalmente de la interacción entre las personas y su medio. En este sentido, dice Pina (2004), el proyecto arquitectónico es un problema que, aún siendo sujeto a una solución abierta e indeterminada, es conducido de acuerdo a ciertos principios ordenadores que tienen toda la intención de orientarlo siempre hacia el mejor de los resultados. Tales principios no son más que un compendio de racionalizaciones técnicas y estéticas que son tomadas en cuenta durante el proceso de síntesis (Beltrán, 2011) en el que se consolida una propuesta de diseño.

También para Bill Hillier, son estas racionalizaciones las que distinguen a un edificio cualquiera de una obra arquitectónica. El edificio consiste únicamente en la reproducción técnica de una serie de patrones sociales y espaciales existentes en el consciente colectivo; para reproducirlos no es necesario entenderlos, ni ser siquiera capaz de identificarlos. La obra arquitectónica, por el contrario, es el resultado tangible del acto intelectual de entender algunos de estos patrones y confrontarlos en la solución de un problema específico de diseño (Hillier, 2007, p.32).

Si todo esto fuese correcto, resultaría que la multiplicidad y complejidad de los patrones socio-espaciales constituyen parte del objeto de estudio dentro del campo del diseño arquitectónico, en tanto que su comprensión ampliaría el bagaje de conocimiento con base en el cual fundamentamos nuestras decisiones. Cada nueva lectura que se hace de estas relaciones, abre la puerta a cuestionar los principios de diseño bajo los cuales nos regimos.

De acuerdo a estos principios fue que, en el año de 1976, investigadores de la *Bartlett School* en *University College London* (UCL) presentaron una publicación académica bajo el título de *Space Syntax*. Esta publicación abordaba la pregunta de cómo y por qué diferentes sociedades producen diferentes órdenes espaciales en las formas de los edificios y los patrones de los asentamientos.

[El artículo] consiste de tres partes. Primero, en un nivel metateórico, se sugiere que la organización espacial debería ser vista como parte de una familia de 'lenguajes mórficos', distintos tanto de los lenguajes naturales como de los matemáticos, pero con propiedades comunes a ambos. En segundo lugar, se propone una teoría general sobre la sintaxis de la organización espacial. Finalmente, la teoría sintáctica es utilizada para respaldar algunas proposiciones hechas recientemente por la antropología relativas a la organización espacial de los seres humanos.¹ (Hillier et al., 1976)

Hillier y los otros, describen al lenguaje mórfico como un sistema de representación y reproducción de la realidad sustentado en las relaciones que guardan entre sí las partes. Para entender la organización del espacio como un lenguaje mórfico se necesita aceptar ciertas premisas:

- Que el espacio puede ser representado como un sistema de porciones bien diferenciadas.
- Que la relación entre una porción y otra constituye una realidad en el mundo natural. De tal manera, la configuración del

¹ Traducción propia a partir del texto original: [...] It consists of three parts. Firstly, at a metatheoretical level, it is suggested that spatial organization should be seen as a member of a family of 'morphic languages' which are unlike both natural and mathematical languages but which borrow properties from each. [...] Secondly, a great syntactic theory of space organization is proposed. [...] Finally, the syntactic theory is used to integrate a number of recent general propositions made in anthropology regarding human space organization. (Hillier et.al., 1976)

sistema es expresión de una realidad subyacente. Al mismo tiempo, la modificación de tal configuración da lugar a una realidad distinta.

Luego de aceptar estas premisas, intentaron desarrollar un modelo formal capaz de representar dichas relaciones en términos matemáticos. La primera aproximación, descrita en este artículo, fue la de aprovechar conceptos de la teoría de conjuntos para representar la organización del espacio en función de las nociones de "contenedor" y "contenido". En investigaciones posteriores, las técnicas de análisis se apoyarían mayormente la teoría matemática de grafos, que expresa la existencia o inexistencia de relaciones de cualquier naturaleza.

De lo anterior, surgió una nueva especialidad dentro del análisis espacial conocida como "sintaxis espacial", cuyo objeto es el de discernir los atributos en la configuración del espacio que denotan o determinan un orden en nuestras actividades sociales. La Unidad de Estudios en Arquitectura de Bartlett, a través del Laboratorio de Space Syntax, ha publicado dos libros, numerosos artículos, y un software de análisis bajo el nombre de *Depthmap*. A partir de la liberación de estas herramientas en 1995, surgió una comunidad internacional interesada en aplicar y complementar esta línea de investigación (Urban Nous, 2018). A la fecha, se han realizado 13 simposios internacionales específicos sobre las metodologías de *Space Syntax*, además de que este tipo de investigaciones participan en foros muy diversos como el simposio internacional *Formal Methods in Architecture* y asociaciones especializadas en la investigación de la arquitectura asistida por métodos computacionales como el caso de *CAADRRIA (Computer-Aided Architectural Design Research in Asia)* en el continente asiático.

Este trabajo trata de dar continuidad a la discusión sobre el orden espacial de la arquitectura —la relación entre espacio físico y espacio social— y extender su estudio a unidades mínimas de habitabilidad. En

otras palabras, se quiere saber si es posible evaluar el desempeño de una habitación según sus propios atributos, en tanto que opera como unidad programática independiente de la posición relativa que ocupa en el edificio. En particular, nos interesamos por la relación que existe entre el espacio físico y las acciones de movimiento. En 1948, Bruno Zevi explicaba a la arquitectura como una gran escultura hueca, distinta de otras artes plásticas en que solamente es aprehensible una vez que entramos en ella y la recorremos (Zevi, 1974, p. 22). Así pues, nos interesa el movimiento, puesto que aparece como una manifestación del espacio social, al mismo tiempo que condiciona la posición del observador y, por tanto, su experiencia sensible.

Las preguntas que dirigen la investigación se enuncian de la siguiente manera: ¿es posible establecer una correspondencia entre las características internas de una habitación y las dinámicas sociales que emergen en ella a partir de las metodologías de análisis existentes? ¿Qué modelo de análisis espacial podríamos aprovechar para analizar el grado de influencia del ambiente arquitectónico sobre nuestra conducta cuando no existen particiones en el espacio?

Estructura de la tesis

En el primer capítulo, "*Diseño del espacio arquitectónico*", se revisa el concepto de "espacio" y la integración de aspectos físicos, mentales y sociales que participan en la construcción del espacio arquitectónico. Luego, se deduce la labor del arquitecto en tanto que diseñador, para poder distinguir su propósito de su campo de acción. A través de estos argumentos, se expone la propuesta del análisis espacial como herramienta válida para la construcción de una teoría del diseño arquitectónico. En suma, el capítulo constituye una defensa para la incorporación de esta línea de investigación dentro del campo de estudio del diseño arquitectónico.

El segundo capítulo, “*Análisis cuantitativo del espacio y el movimiento*”, hace una revisión comprensiva de la metodologías que se han desarrollado dentro del campo del análisis espacial. Con ese objetivo, se ofrece primero una semblanza de la teoría de grafos matemática que ha servido como fundamento matemático para la construcción de los modelos. Luego, se explican las metodologías más comunes, ofreciendo algunos ejemplos de aplicación. En tercer lugar, se explican los protocolos de observación en campo que se han utilizado como referencia para la interpretación social de los modelos.

El tercer capítulo, “*Ofertas de movimiento en el espacio arquitectónico*”, plantea utilizar el concepto de *ofertas ambientales* como marco interpretativo para explicar la manera natural en que el espacio se relaciona con la actividad humana. De esta manera, se trata de reconocer y categorizar las diferentes relaciones de uso que establecen las personas con su entorno y que aparecen representadas en los modelos de análisis espacial estudiados en el capítulo anterior. Además, se proponen algunas reglas sobre la composición del ambiente, de tal manera que sea posible distinguir las ofertas que pueden llamarse arquitectónicas de las que aparecen como resultado de elementos no arquitectónicos.

El cuarto capítulo “*Propuesta de un nuevo modelo de análisis*”, plantea la construcción de un modelo de análisis espacial articulado para describir las ofertas de movimiento en el espacio arquitectónico. Primero, establece los objetos y relaciones elementales del modelo. Después, propone una representación gráfica y matemática que permita ilustrar y valorar dichas relaciones. En tercer lugar, ofrece un marco de interpretación para entender las estructuras espaciales descritas por el sistema. Por último, concluye con la extrapolación del modelo hacia estructuras de mayor complejidad.

El quinto capítulo “*Aplicación de la propuesta en salas de exhibición*” sirve para poner a prueba la funcionalidad y capacidades descriptivas del modelo. Para establecer un marco de referencia, se empieza por dar cuenta de investigaciones previas de análisis espacial sobre espacios de exhibición y se expone al Museo Jumex y el Museo Universitario Arte Contemporáneo como propuesta de caso de estudio. El ejercicio demuestra que es posible utilizar técnicas análisis espacial para explicar las ofertas de movimiento que resultan de una configuración arquitectónica determinada. Los resultados sugieren también que tales ofertas repercuten en las adecuaciones que otros actores pueden hacer de manera posterior mientras tratan de responder a los requerimientos para el uso y aprovechamiento del espacio.

Índice de cuadros y gráficos

CAPÍTULO 1

- Figura 1.1. Correspondencia entre componentes y teorías del espacio.
- Figura 1.2. Croquis representando el componente físico del espacio.
- Figura 1.3. Perspectivas representando el componente psíquico del espacio.
- Figura 1.4. Diagrama representando el componente social del espacio.
- Figura 1.5. Modelo propuesto para relacionar las tres dimensiones del espacio arquitectónico.

CAPÍTULO 2

- Figura. 2.1. La disposición de los puentes en la antigua ciudad de Könisberg en el siglo XVIII.
- Figura. 2.2. Representación geométrica de un multigrafo histórico: el multigrafo de Euler, el cual simboliza la disposición de los siete puentes de la ciudad de Könisberg.
- Figura 2.3. A) Matriz de relaciones B) Representación en forma de grafo de la misma matriz de relaciones.
- Figura 2.4. A) Figura convexa B) Figura cóncava.
- Figura 2.5. Mapas convexos de dos plantas arquitectónicas y su correspondiente grafo justificado.
- Figura 2.6. Mapa convexo y mapa axial de la misma planta arquitectónica.
- Figura 2.7. Mapa de segmentos.
- Figura 2.8. Mapa axial dual.
- Figura 2.9. Grafo justificado construido a partir de un mapa axial.
- Figura 2.10. Superposición de la representación geométrica y gráfica de una isovista.
- Tabla 2.1. Variables geométricas y aritméticas de una isovista.

Figura 2.11. Representación de las condiciones variables de visibilidad a través de campos de isovistas

Figura 2.12. El análisis VGA de conectividad

Figura 2.13. Profundidad de vista desde un punto de referencia con análisis de VGA alterno.

Tabla 2.2. Elementos y relaciones descritos por cada modelo de análisis espacial.

Figura 2.14. Ejemplo de registro de cuenta de pases.

Figura 2.15. Ejemplo de una ronda de registro sincrónico.

Figura 2.16. Ejemplo de un código para conteo sobre dispersión de rutas.

Figura 2.17. Ejemplo de un trazo de movimiento.

Tabla 2.3. Variables de movimiento descritas por los simuladores

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Entorno conformado únicamente por elementos ambientales arquitectónicos.

Figura 3.2. Entorno conformado por elementos ambientales arquitectónicos y mobiliarios.

Figura 3.3. Entorno conformado por elementos ambientales arquitectónicos, mobiliarios y circunstanciales.

Tabla 3.1. Elementos ambientales incorporados al análisis espacial

Tabla 3.2. Propuesta de las ofertas ambientales descritas por las estructuras elementales de los principales modelos de análisis espacial

Figura 3.4. Diferentes representaciones de un área de análisis mediante mapas convexos. Las relaciones de permeabilidad y co-presencia entre dos sujetos que ocupan el espacio varía en función del mapa trazado.

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. A) Prefiguración de las categorías espaciales que el modelo debería poder describir. B) Relaciones mínimas que es posible computar para obtener una definición no discursiva de las categorías.

Figura 4.2. Kinesfera propuesta por Laban para describir la espacialidad inherente al cuerpo humano. 1913-1917.

Figura 4.3. A) Representación de la kinesfera propuesta por Laban, que permite el rango completo de movimientos del cuerpo humano. B) Módulo de análisis propuesto con diámetro de un metro, suficiente para alojar actividades cotidianas.

Figura 4.4. A) Relación de proporcionalidad existente entre la distancia métrica y topológica de una retícula hexagonal. B) Relaciones asimétricas entre distancia métrica y topológica en una retícula ortogonal.

Figura 4.5. Una retícula alineada al mobiliario muestra que a nivel de dimensiones el modelo representa las negociaciones territoriales que se dan en el espacio.

Figura 4.6. Algunos escenarios que ilustran la variación en la libertad de movimiento entre módulos con valencia 1 y 6.

Figura 4.7. Caminos posibles por los cuales se puede alcanzar una celda en dos pasos. Cada camino es una secuencia de celdas contiguas (A a F) que indican la dirección del movimiento.

Figura 4.8. Caminos posibles por los cuales se puede alcanzar una celda en tres pasos.

CAPÍTULO 5

Figura 5.1. Nivel 1 y Planta Baja del Museo Jumex indicando el sentido habitual de circulación.

Figura 5.2. Nivel 3 y Nivel 2 del Museo Jumex indicando el sentido habitual de circulación.

Figura 5.3. Instalación en Nivel 3 del Museo Jumex. 2021.

Figura 5.4. Instalación en Nivel 2 del Museo Jumex. 2021.

Figura 5.5. Instalación en el Nivel 1 del Museo Jumex.

Figura 5.6. Planta de acceso del Museo Universitario Arte Contemporáneo.

Figura 5.7. Disposición de la exhibición 'Ana Torfs' en Salas 7 y 8. 2021.

Figura 5.8. Vistas de la instalación en Sala 8 del MUAC. 2021.

Figura 5.9. Disposición de la retícula hexagonal de análisis en el Nivel 1 del Museo Jumex.

Figura 5.10. Celdas contiguas etiquetadas según su posición relativa respecto a una celda de referencia.

Figura 5.11. Identificadores por módulo asignados de manera consecutiva siguiendo el orden de las columnas.

Tabla 5.1. Construcción de una base de datos que representa el espacio continuo.

Figura 5.12. Fragmento de la base de datos desarrollada para identificar las conexiones entre celdas contiguas por medio de las direcciones en el sistema de coordenadas oblicuas.

Figura 5.13. Restricciones de movimiento derivadas de distintos elementos ambientales y sociales.

- Figura 5.14. Representación gráfica y matemática de la configuración de una sala de exhibición.
- Figura 5.15. Cálculo de la valencia en primer grado considerando obstáculos derivados del proyecto arquitectónico del Museo Júmex.
- Figura 5.16. Cálculo de la valencia en primer grado considerando obstáculos derivados de las adecuaciones temporales de las salas del Museo Júmex.
- Figura 5.17. Cálculo de la valencia en primer grado considerando obstáculos derivados del montaje de las piezas de exhibición en el Museo Júmex.
- Figura 5.18. Representación de la gradual incorporación de obstáculos en las Salas 7 y 8 del MUAC.
- Figura 5.19. Resultados de la hoja de cálculo para identificar a las celdas accesibles en dos pasos a partir de cada módulo de referencia. Elaboración propia
- Figura 5.20. Representación de las valencias en primer grado para los elementos arquitectónicos que conforman el Nivel 1 del Museo Júmex.
- Figura 5.21. Representación de las valencias en segundo grado para los elementos arquitectónicos que conforman el Nivel 1 del Museo Júmex.
- Figura 5.22. Representación del proceso de incorporación de obstáculos en las Salas 7 y 8 del MUAC.
- Tabla 5.3 Frecuencia de valencias de primer grado por cada escenario de estudio.
- Tabla 5.4 Frecuencia de valencias de segundo grado por cada escenario de estudio.
- Figura 5.23. Demostración de la valencia promedio de cuatro para elementos de borde lineales.

CAPÍTULO

1

**Diseño del espacio
arquitectónico**

La teoría de la arquitectura ha recurrido con frecuencia al concepto de *espacio*, particularmente entre los años 1890-1970. Sin embargo, la naturaleza del concepto varía dependiendo del paradigma desde el cual uno se aproxime. Por ejemplo, Stanek (2012) explica que existe una confrontación entre la comprensión moderna del término *espacio* y la postura más sociológica y política que surgió con la visión de Henri Lefebvre. Así mismo, Erdem Üngür (2012, p.1) demuestra que ha existido una transformación histórica del concepto 'espacio' desde su introducción al vocabulario arquitectónico, que a su vez ha impactado en la construcción de la teoría arquitectónica.

Es importante aclarar que este proyecto de investigación no adopta ninguna postura sobre la dirección que la arquitectura debería tomar, en el sentido de afirmar que la arquitectura debiera orientarse por principios fenomenológicos, sociológicos o económicos. En cambio, reflexiona sobre la forma en que el espacio arquitectónico está constituido, de tal manera que sea posible diferenciar el campo de acción del diseñador arquitectónico y aportar herramientas teóricas y técnicas que le ayuden a desempeñar su función. Sin embargo, la ambigüedad en el concepto de espacio arquitectónico es tal que puede dificultar la discusión si no se le aborda cuidadosamente. Esto es, porque aquello que es cierto para una visión del espacio arquitectónico puede no serlo para otra. Por eso, antes de ahondar en silogismos, es preciso acotar el sentido de la exposición, siendo ese el objetivo de este primer capítulo.

1.1 Componentes del espacio arquitectónico

Para acortar la ambigüedad podemos empezar por asumir que la multiplicidad de significados no se extiende al término espacio (una vez que le quitamos el denominativo de arquitectónico) y que al menos éste siempre se refiere al mismo concepto. Los orígenes etimológicos de la palabra espacio hacen referencia a la acción de tirar o arrastrar. En el idioma español, la Real Academia Española le reconoce catorce acepciones diferentes, pero todas coinciden en que lo emplean como una magnitud que bien puede ser de distancia, capacidad, tiempo, pensamiento, etcétera.¹ Por

¹ 1. m. Extensión que contiene toda la materia existente. 2. m. Parte de espacio ocupada por cada objeto material. 3. m. espacio exterior. 4. m. Capacidad de un terreno o lugar. 5. m. Distancia entre dos cuerpos. 6. m. Separación entre las líneas o entre letras o palabras de una misma línea de un texto impreso. 7. m. Transcurso de tiempo entre dos sucesos. 8. m. Programa o parte de la programación de radio o televisión. 9. m. Fís. Distancia recorrida por un móvil en cierto tiempo. 10. m. Impr. Pieza de metal que sirve para separar las palabras o poner mayor distancia entre las letras. 11. m. Mat. Conjunto de elementos entre los que se establecen ciertos postulados. 12. m. Mús. Separación que hay entre las rayas del pentagrama. 13. m. p. us. Tardanza o lentitud. 14. m. desus. Recreo o diversión.

ello, se propone que el término “espacio” sea entendido de manera general como un medio —abstracto o concreto— donde las cosas existen.

Ahora bien, para poder dar cuenta de las diferentes acepciones que existen, diremos que el espacio puede ser de diferentes naturalezas, dependiendo de la “cosa” que está alojando. Así, dependiendo de su naturaleza, o la de su contenido, el espacio recibe designaciones particulares. De esta manera, podemos hablar de que existe el espacio temporal, cuyo contenido pueden ser años, horas, minutos o segundos. También podemos decir que existe el espacio estelar donde se cuentan los astros. Lo mismo podemos admitir que existe un espacio digital dentro del cual se acumulan datos y códigos de instrucción para aplicaciones tecnológicas.

De acuerdo con el historiador de arquitectura Adrián Forty, el concepto de espacio no formaba parte del vocabulario de la disciplina hasta 1980, cuando fue introducido en nuestro campo por Gotfried Semper mediante el término alemán Raum. En alemán, este vocablo puede ser entendido tanto como la partición constructiva a la que nosotros denominaríamos “cuarto” como con el concepto filosófico de “espacio” que estamos discutiendo. (En Üngur, 2011, p.2)

Dentro de nuestro campo de estudio, nos interesa el espacio arquitectónico. Podríamos empezar por definirlo como el medio o hábitat que aloja las actividades humanas. Pero, una vez que se intenta determinar cuáles son las “cosas” esenciales que conforman este medio entramos en materia de debate: ¿son los materiales de obra con los que construimos?, ¿la experiencia de ellos a la que podemos acceder a través de nuestros sentidos?, ¿o las oportunidades que crean para aislarnos o integrarnos los unos con los otros?

Aquí adoptamos la perspectiva de que estos elementos no se diferencian del todo unos de otros, sino que conforman dimensiones de la arquitectura (entendida ya sea como objeto o como disciplina) que se encuentran en

constante interacción. Para ahondar en esta explicación, nos apoyamos del modelo tripartita de Mauricio Cortés Sierra según el cual el espacio arquitectónico es de una naturaleza múltiple compuesta a partir de tres componentes: el físico, el psíquico y el social (Cortés, 2013, p.40).² La diferenciación en tres componentes que hace Cortés presenta similitudes con las distinciones en la representación teórica del espacio como “volumetría”, “estética” o “lugar” con que Üngur (2011) clasifica los varios usos que se han dado al término espacio dentro de la teoría de la arquitectura (Ver Figura 1.1). De tal manera, creemos que diferenciando estos tres componentes, es posible poner de frente los paradigmas modernos y posmodernos para determinar el rol del arquitecto en la construcción del espacio y explicar las premisas conceptuales de esta investigación.



Figura. 1.1. Correspondencia esperada entre componentes y teorías del espacio. Elaboración propia

² El modelo arquitectónico de Cortés Sierra parte del modelo espacial triádico del arquitecto Joseph Muntañola mente-territorio-sociedad. (Cortés, 2013, p.40)

1.1.1 Espacio físico

El primer componente del espacio está directamente asociado con la geometría. Esta geometría puede ser de un orden meramente euclidiano (representable en tres dimensiones) o de otro tipo (Cortés, 2013, p.40). Por ejemplo, la topología estudia propiedades de los cuerpos geométricos que no dependen de las distancias en el sentido métrico, sino de la adyacencia entre partes o la continuidad de patrones.

Üngür (2011), menciona que las teorías volumétricas sobre la naturaleza del espacio arquitectónico pueden ser asociados a las ideas filosóficas de Hegel o Bötticher. Hegel, por un lado, consideraba a la arquitectura como el arte más inferior, puesto que depende completamente de la transformación de los materiales para delimitar y circunscribir el espacio en el que se reúnen los hombres. Pensaba que le correspondía al arquitecto, en tanto que artista, rescatar a los materiales de su condición finita y accidental para dotarlos de significado (Lins, 1998, p.39). Por su parte, Bötticher abogaba que los estilos arquitectónicos debían responder a una lógica tectónica que mantuviera relación con los materiales y las técnicas constructivas disponibles (Rigotti, 2009, p.1).

Por tanto, podemos concluir que la arquitectura tiene un componente físico que refiere a su composición material. Es este componente el que representamos por medio de dibujos técnicos y listados de especificaciones (Ver Figura 1.2). Si entendemos al espacio como contenedor, entonces la arquitectura existe en un espacio físico que podemos relacionar con el medio ambiente. Sin embargo, al disponer de los materiales de construcción para erigir edificios, tal espacio físico queda delimitado. Tanto el espacio físico como los objetos que contiene pueden ser descritos por medio de diferentes herramientas que ofrecen la geometría y las ciencias naturales. Entre las características del espacio físico pueden incluirse variables energéticas como temperatura y luminosidad así como la constitución química y estructural de los elementos que lo circunscriben.

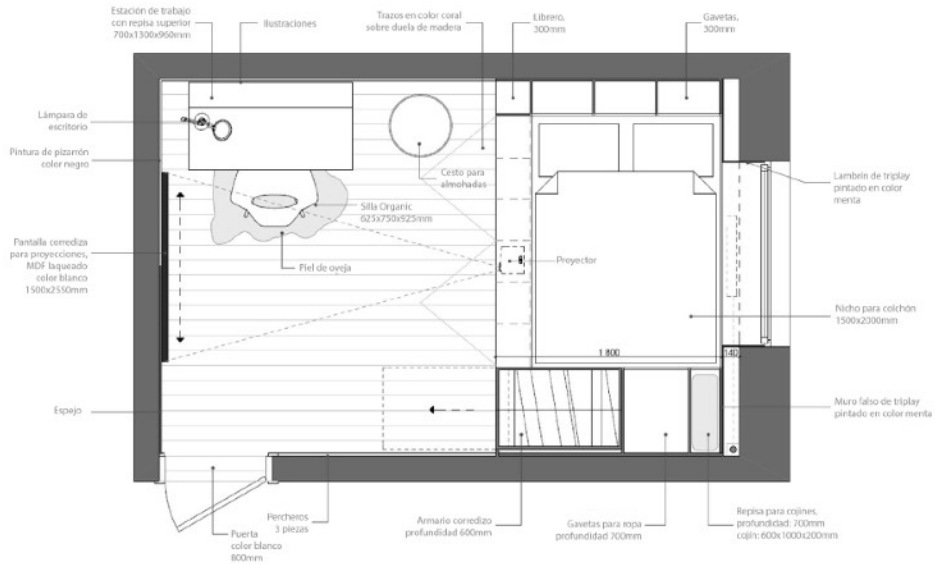
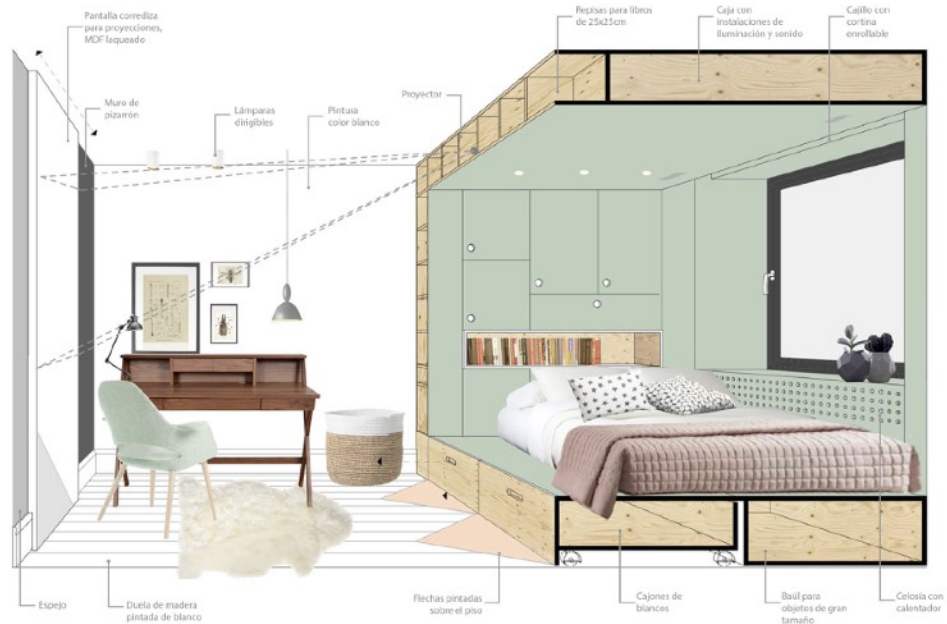


Figura 1.2. Croquis representando el componente físico del espacio. Proyecto Interior DG, por el despacho INT2. Traducción propia a partir de imágenes recuperadas del sitio: <https://int2architecture.ru/interiordg-html/>.

1.1.2 Espacio percibido

La fisiología, encargada de estudiar las funciones de los seres vivos, sugiere que el mundo que nos rodea podría parecerse muy poco a la imagen que tenemos de él:

El hecho de que los estímulos alcancen los órganos de los sentidos no significa que sean ya conscientes. Necesitan pasar primero por estos órganos o por la piel, para llegar a los nervios transmisores propiamente de la sensación. Estos nervios lo transmiten al cerebro. Si nos representamos la estructura extremadamente complicada del cerebro, es poco probable que el proceso que surge finalmente en la corteza cerebral, como respuesta a un estímulo físico, tenga aún alguna analogía con este estímulo. (Hessen, 2014, p.40)

Es decir, que lo que percibimos no es el espacio físico en sí, sino la representación que nuestro sistema nervioso desarrolla a partir de una serie de estímulos que ofrece el ambiente. De hecho, casi todos los estímulos son transmitidos en forma de impulsos eléctricos que después se interpretan como sensaciones específicas. Puede decirse que es una casualidad evolutiva que interpretemos la luz de forma pictórica y la radiación como una sensación de frío y calor. Así pues, el espacio percibido (o psíquico) conjunta las impresiones que surgen de nuestra experiencia sensible y por eso es de una naturaleza muy distinta a la del espacio físico.

Por supuesto, el componente psíquico del espacio mantiene relación con el componente físico. A final de cuentas, los estímulos que recibimos parten en su mayoría de objetos materiales ajenos a nosotros mismos, por lo que esta lectura estará sesgada por condiciones que son particulares para cada lector. Aún si la fisiología humana se considerara predecible, podemos asumir que la perspectiva visual que se construya sobre un determinado espacio variará de acuerdo al punto en que se sitúa del observador (Ver Figura 1.3), así como de su estatura. Además, al percibir el espacio,

raramente nos detenemos en imágenes de forma aislada sino que las procesamos en forma de impresiones más generales. Por eso, el espacio psíquico no solo depende de la construcción mental que hacemos de los objetos, sino también de nuestra noción del tiempo y del desarrollo de la memoria. Al respecto, los estudios de Jean Piaget que explican que existe un proceso de desarrollo cognitivo que implica variaciones en la manera en que los niños y los adultos pueden dimensionar su propio cuerpo y definir su posición en el espacio (Cortés, 2013, p.41).

La caracterización del espacio como objeto de la percepción tiene una importante base en la filosofía kantiana. Kant planteó en su *Crítica del Juicio* que el espacio es parte del aparato por medio del cual la mente hace el mundo inteligible. De tal manera que el espacio que conocemos no era una cualidad del mundo empírico ni representaba realmente sus propiedades. Más bien, creía que el espacio existía en la mente a priori como una mera intuición (Üngur, 2011, p.3).

Esta clase de teorías estéticas del espacio tuvieron gran impacto en la discusión del arte y la arquitectura entre los años 1893 y 1914. Por ejemplo, el historiador del arte, August Schmarsow (1853-1936), sostenía que el “constructo espacial” era una propiedad de la mente y denunciaba que muchos arquitectos la confundieran con el espacio geométrico contenido en los edificios (Forty, en Üngur, 2011, p.3).



Figura 1.3. Perspectivas representando el componente psíquico del espacio. Proyecto *Interior DG*, por el despacho *INT2*. Imágenes recuperadas del sitio: <https://int2architecture.ru/interiordg-html/>

1.1.3 Espacio social

Finalmente, hablaremos de componente social para referirnos al uso que hacemos de los espacios. En el modelo de Cortés, el espacio social se caracteriza por acumular las experiencias de múltiples usuarios (Cortés, 2013, p.49). Pero en nuestra propuesta lo que caracteriza al espacio social es que está asociado directamente con los modos de habitar, determinado por la interpretación territorial y la apropiación que hacemos de los espacios mediante diferentes maneras de ocuparlos. Aún en nuestro comportamiento individual, el espacio social se manifiesta como resultado de un estilo de vida y los patrones de conducta que se desarrollan en un determinado entorno cultural. La Figura 1.4 ilustra algunas secuencias actividades que podemos anticipar en un determinado dormitorio.

El espacio social se relaciona con valores históricos y culturales que compartimos a manera de comunidad. En consecuencia, el espacio social está asociado con esquemas de poder político y comercial que son característicos de las formaciones sociales (Cortés, 2013, p.49). Lefebvre sostenía que el espacio físico era una representación de relaciones sociales preestablecidas.

Así como el espacio psíquico varía en función de nuestras posibilidades de percepción, puede esperarse que el espacio social se configure a partir de nuestros rasgos culturales y de personalidad. A diferencia del espacio psíquico, el espacio social no es subjetivo e inaccesible, sino que se manifiesta en nuestros comportamientos al interactuar con el espacio.



Figura 1.4. Diagrama representando el componente social del espacio. Proyecto *Interior DG*, por el despacho *INT2*. Edición propia a partir de imágenes recuperadas del sitio: <https://int2architecture.ru/interiordg-html/>

1.1.4 Espacio arquitectónico

Siguiendo el modelo de Cortés, consideramos que el espacio arquitectónico existe en la confluencia de los tres componentes hasta ahora mencionados. Se trata, por tanto, de un medio físico, que experimentamos a través de nuestros sentidos (restringidos por nuestras características fisiológica) donde interactuamos en función de diversos aspectos antropológicos y culturales.

En el momento de habitar un espacio, estos tres componentes se nos presentarán de manera simultánea para conformar una experiencia arquitectónica particular. Pero eso no es todo, cada uno de estos tres componentes tiene la capacidad de incidir sobre los otros dos, por lo que la modificación en cualquiera de ellos tiene potencia para alterar el carácter del espacio arquitectónico en su conjunto. La psicología ambiental plantea que las formas de adaptación del hombre al entorno son principalmente dos: la modificación del espacio (para adecuarlo a nuestras necesidades) y la modificación sobre uno mismo (adecuándonos al medio que existe). De tal manera, se explica que existan ciclos de influencia de un componente sobre otro en ambas direcciones.

1.2 Motivaciones y límites del diseño arquitectónico

Al haber definido al espacio arquitectónico, podemos ahora indagar en la labor del arquitecto en su carácter de diseñador. A partir de las características descritas por Raúl Bellucia (2007, p.23), entendemos al diseño —en su sentido más general— como la *determinación de características singulares y diferenciadas de un objeto, proceso o sistema, de*

*manera que este cumpla con ciertos propósitos.*³ Así pues, el diseño, en tanto oficio, consiste sobre todo en una labor de especificación. Se sucede que el producto del trabajo de un arquitecto es la propuesta que hace sobre los atributos del espacio arquitectónico, a fin de que este satisfaga determinados requerimientos. El diseñador arquitectónico especifica y detalla diferentes aspectos materiales mediante dibujos o a través de algún otro medio de comunicación.

Si el espacio arquitectónico es de una naturaleza tripartita, podría pensarse que el arquitecto tiene responsabilidad como diseñador sobre cada uno de sus componentes. De hecho, la aproximación fenomenológica a la teoría de la arquitectura, pone en el centro de atención a la experiencia del lugar. Sin embargo, incluso en este caso, el diseño de una atmósfera particular quedará acotado a la capacidad del arquitecto para determinar las características del espacio físico que han de experimentarse. Si bien el arquitecto puede estar interesado en el espacio psíquico o el espacio social que resulte de su trabajo, estas dos dimensiones del espacio escapan a su mano de diseñador, por ser fenómenos que ocurren de modo emergente en el entorno ya construido. Así pues, el espacio físico es siempre el campo de acción del diseñador arquitectónico, mientras que el espacio psíquico y social constituyen su motivación y objetivo.

Por todo lo anterior, Bill Hillier creía que la labor del arquitecto (en su rol de diseñador) es conocer las reglas que subyacen en nuestra relación con el espacio para poder trabajarlas de manera consciente. Esto, en contraposición a la acción del constructor vernáculo, que simplemente replica prácticas tradicionales sin entender su fundamento. Según el discurso de Hillier, una teoría analítica de la arquitectura buscaría establecer relaciones entre los propósitos del proyecto —sean estos emocionales, sociales o de

³ Esta definición, construida a propósito a partir de una nominalización de acción y efecto, nos permite aproximarnos a la esencia del diseño en todo su espectro semántico, independientemente de que el término ilustre un sustantivo, una acción o una disciplina. Para ahondar en la función lingüística de las nominalizaciones de acción y efecto, que abarcan tanto al sentido de evento como al objeto resultado, se recomienda revisar el artículo de Martín García, Josefa. "Sobre la acción y el efecto del verbo" en *Revista de Lexicografía*, XVII, 2011, pp. 97-114

otra índole— y las acciones posibles en el espacio físico, a fin de que las determinaciones compositivas del arquitecto surjan de la lógica y no simplemente de la intuición. Para Hillier:

La arquitectura empieza en el momento en que los aspectos de configuración de la forma y el espacio, a través de los cuales los edificios se convierten en objetos culturales y sociales, no son tratados de forma inconsciente, sino que se les eleva al plano del pensamiento consciente y comparativo, de modo tal que formen parte del objeto de atención creativa. ⁴ (Hillier, 2007, p.32)

1.3 El estudio del orden espacial

En 1984, Hillier y Hanson plantearon el concepto de orden espacial como punto de partida para la construcción de una teoría analítica de la arquitectura. Definieron al orden espacial como el conjunto de restricciones que puede tener el proceso —en principio completamente aleatorio— de que cada persona adopte una posición propia y con respecto a los otros en el espacio (Hillier y Hanson, 1984, p.8-10). La teoría del orden espacial plantea dos supuestos principales.

El primer supuesto es que el espacio construido tiene una lógica social intrínseca. Esto es, que la configuración natural de los edificios y las ciudades responde de manera directa a la necesidad de organizar las relaciones sociales y los encuentros entre las personas. Ponemos muros allí donde necesitamos privacidad y dificultamos el acceso a sitios que preferimos mantener reservados. De acuerdo con este primer supuesto, es posible echar un vistazo a la arquitectura histórica o contemporánea y deducir diferentes estructuras sociales.

⁴ Traducción propia a partir del texto original: Architecture begins when the configurational aspects of form and space, through which buildings become cultural and social objects, are treated not as unconscious rules to be followed, but are raised to the level of conscious, comparative thought, and in this way made part of the object of creative attention.

El segundo supuesto dice que las personas que forman parte de una comunidad comparten una lógica socio-espacial que les permite leer y otorgar significado al espacio. Esta lógica nos ayudaría a orientarnos y también a solucionar problemas de territorialidad. Por ejemplo, cada uno de nosotros determina una distancia que se siente cómoda con respecto a las otras personas, dependiendo del contexto y de nuestro nivel de familiaridad con ellas. De esta manera, somos capaces de juzgar si los lugares son propicios o inadecuados para el desarrollo de determinada actividad y ajustamos nuestro comportamiento de acuerdo a las circunstancias.

El Laboratorio de *Space Syntax*, en el *University College London* (UCL), se ha destacado por su investigación sobre el orden espacial desde 1976. La metodología —bajo el mismo nombre de *Space Syntax*— permite describir la configuración topológica de un complejo de unidades habitables independientes, como edificios, conjuntos urbanos o unidades arqueológicas, y estudiar la manera en que diferentes distribuciones sirven para estimular la convivencia o restringir las interacciones sociales.

Montello considera que los términos más apropiados para referirse a estas técnicas de análisis, podrían ser “*place syntax*” o “*the spatial syntax of place*” (Montello, 2007, p. iv-04). Sin embargo, a diferencia de la sintaxis, la teoría de Hillier y Hanson no se construye realmente a partir de la definición de sintagmas (elementos mínimos con significado) que integren significados mayores a medida que se ordenan en estructuras de mayor complejidad ni tampoco reconoce reglas que confieran significados precisos a la configuración de los espacios arquitectónicos. En mi opinión, el término más adecuado es el de “análisis topológico del espacio” o “topología espacial” puesto que las técnicas que desarrolla, dividen el espacio en porciones discretas para entender las cualidades que resultan de sus relaciones internas. O bien, si se quiere seguir con la analogía semántica, puede definirse como un análisis morfológico del espacio, ya que busca significados que resultan de las estructuras entre elementos que aislados no tienen

sentido. Así, la teoría del orden espacial se puede entender más aproximada a la construcción de palabras que a la construcción de oraciones o textos.

De hecho, Hillier y Hanson plantean que tanto la configuración del espacio como las relaciones sociales pueden ser estudiados como lenguajes mórficos. Es decir, que están conformados por un conjunto de elementos que se pueden ordenar entre sí para ser reconocibles por otros (Hillier y Hanson, 1984, p.50). Al ser así, solo en función del resultado ordenado es que nuestra condición humana nos permite leer y evaluar ciertas características del entorno.

Recapitulando, entendemos al espacio arquitectónico como un medio habitado por los seres humanos. Para su análisis lo hemos clasificado en tres dimensiones o componentes espaciales distintos. Primero, dijimos que el espacio tiene una dimensión física que constituye su materialidad y que es la única sobre la cual el arquitecto tiene capacidad de determinar características, aún si sus propósitos no tienen que ver directamente con el objeto material. En segundo lugar, tiene una dimensión psíquica, puesto que solo a través de nuestra experiencia sensible tenemos conocimiento del mismo y podemos formarnos juicios sobre él. En tercer lugar, tiene una dimensión social, puesto que como contenedor y producto de la actividad humana, está sujeto a construcciones de índole sociocultural que se manifiestan tanto en su organización como en el uso que le damos. Aunque puedan diferenciarse a nivel conceptual, estos tres componentes interactúan en la conformación del espacio arquitectónico.

Para poder conciliar sus intenciones con sus determinaciones de diseño, es preciso que el arquitecto entienda las relaciones que existen entre los diferentes componentes del espacio. De manera particular, esta investigación se centra en la relación entre el espacio físico y el espacio social, denominada por Hillier y Hanson como el “orden social de la arquitectura”. Sin embargo, esto no puede hacerse sin tomar en cuenta también al espacio psíquico. De tal manera, el proyecto queda enmarcado dentro de la línea de

investigación del análisis espacial, sobre la cual el siguiente capítulo expone el estado de arte.

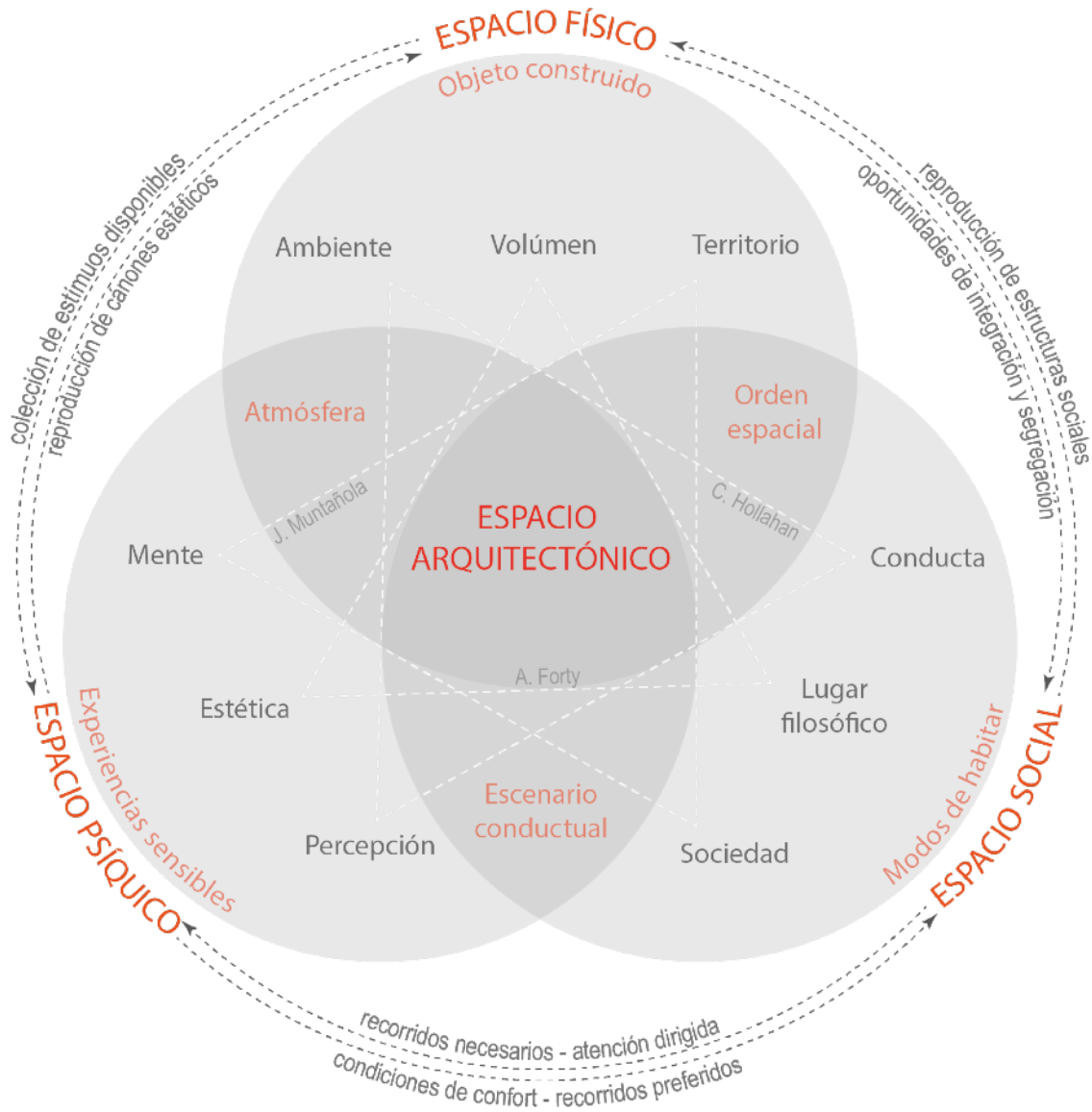


Figura 1.5. Modelo propuesto para relacionar las tres dimensiones del espacio arquitectónico. Elaboración propia.

CAPÍTULO

2

**Análisis cuantitativo del
espacio y el movimiento**

El origen de las metodologías de análisis del Space Syntax suele datarse a 1984, con la publicación del libro *The Social Logic of Space*, por Bill Hillier y Julienne Hanson. No obstante, muchos de los conceptos que integran este campo de estudio son anteriores a esta publicación. Por ejemplo, el concepto de isovista que abordaremos en este capítulo fue importado para su uso en arquitectura por Benedikt desde 1976, aunque no fue hasta 2001 que Turner lo incorporó en una metodología de análisis espacial. Además, se siguen desarrollando nuevas técnicas de estudio para atender de manera particular a los fines de investigaciones posteriores. Ya que se trata de un corpus integrado por diversos investigadores, es común encontrar términos ambivalentes, a la vez que sinonimias.

A lo largo de la investigación se encontraron algunos documentos que agrupan de manera comprensiva y sintética las técnicas de análisis que pudieran considerarse canónicas. Al respecto, puede revisarse el artículo

Comparing the properties of different Space Syntax Techniques for Analysing Interiors (Behbahani et al., 2014), o bien, la primera parte del libro *The Mathematics of the Modernist Villa: Architectural Analysis Using Space Syntax and Isovists* (Ostwald y Dawes, 2018).

Basada en estos documentos y en la revisión de diversos artículos académicos, presentamos aquí nuestra propia semblanza sobre las principales técnicas de análisis espacial. En primer lugar, porque secundo la opinión de Ostwald y Dawes (2018, p.26). sobre la dificultad de interpretar la información cuantitativa que arroja el análisis espacial si no se estudia primero la construcción de sus modelos. En segundo lugar, porque me permite exponer las limitaciones que tiene cada una para resolver la pregunta sobre cómo nos movemos en una habitación. En tercer lugar, porque la comprensión de los modelos preexistentes fue fundamental para el desarrollo de un modelo propio, orientado a describir las posibilidades de movimiento que resultan del diseño de una habitación.

De manera general, podemos decir que los modelos de sintaxis espacial se componen de tres fases: la representación, el análisis y la interpretación. La primera de ellas, la representación, corresponde a una determinada abstracción que se hace del espacio y que suele tomar la forma de un diagrama. La segunda fase, el análisis, corresponde al cálculo de valores aritméticos o algebraicos que describan las propiedades del sistema, de manera que proyectos diferentes puedan ser comparados entre sí. La tercera fase, la interpretación, consiste en el planteamiento de relaciones de causa-efecto que permitan asociar las propiedades del sistema a ciertos fenómenos sociales. (Hillier y Tzortzi, en Ostwald y Dawes, 2018, p.24-25)

Las fases de representación y análisis se fundamentan en una rama matemática denominada la teoría de grafos (Ostwald y Dawes, 2018, p.25), de la cual parte la estructura lógica común a todos los modelos. Así pues, el capítulo comienza por introducir algunos conceptos generales de la teoría de grafos, con el objetivo de aclarar el tipo de fenómenos que los modelos

pueden describir y no sobreestimar sus capacidades de análisis. Para ello, nos hemos apoyado del texto introductorio de Amador Menéndez (1998) y de los contenidos del curso impartido por Cristina Jordán (2011).

En la segunda sección del capítulo se exponen las diferentes representaciones que se han desarrollado para poder describir el espacio físico de manera cuantitativa y a las cuales nos referiremos como *modelos de análisis espacial*. Para cada una se señalarán algunas de las variables aritméticas que suelen calcularse y su significado.

Con respecto a la interpretación de los modelos, es necesario tener en consideración que el registro y la cuantificación de los fenómenos sociales tiene sus propias ambigüedades, pues también depende del uso de abstracciones para solventar las limitaciones técnicas del observador. Se verá que los investigadores se valen de técnicas diversas para mantener objetividad al documentar el movimiento de las personas en el espacio, pero que cada una de ellas implica una serie de inferencias. Por eso, en la tercera parte del capítulo, se incluye una reseña sobre distintos sistemas de documentación que se utilizan para registrar el movimiento en el espacio arquitectónico.

En la cuarta y última parte del capítulo se discuten los resultados e interpretaciones de estudios previos que relacionan las características del espacio físico con el movimiento de las personas que lo ocupan.

Es preciso prevenir que casi todas las referencias que se han utilizado como fuente en este capítulo fueron escritas en inglés. Siempre que ha sido posible, se han aprovechado los términos en español utilizados por otros autores para traducir los términos; por ejemplo Abajo y Delgado (2018), Jordán (2011) y Menéndez (1998). Cuando los conceptos no se encontraron en español, se hizo el esfuerzo de proponer un término que fuese ilustrativo del concepto antes que traducir directamente del inglés. En todo caso, al final del documento se incluye un glosario que indica la terminología en inglés, así como los autores que la han definido.

2.1 Representación gráfica del espacio.

La teoría de grafos es la rama de las matemáticas que se centra en describir las relaciones que existen entre los elementos que conforman un conjunto. Tal vez, su acertijo más conocido sea el de los puentes de Königsberg, donde se trata de descifrar si existe un camino que permita recorrer todos los puentes de una ciudad sin repetir alguno y terminar en el mismo lugar en el que se empezó el recorrido (Figura 2.1). En 1736, Euler desarrolló las herramientas matemáticas necesarias para resolver este tipo de problemas y, sobre ese acertijo en particular, determinó que no había alguna ruta posible dadas las características de la red.

El problema de los puentes de Königsberg se puede simplificar por medio del grafo G (Figura 2.2), en el que cada parte de la ciudad se dibuja como un punto, y se traza después una línea para representar cada puente que conecta a dos áreas independientes. En la teoría de grafos, se denomina *nodo* o *vértice* a cada uno de los elementos del sistema, representados en la Figura 2.2 mediante los números 1, 2, 3 y 4. Luego, se denomina *arista* a la relación existente entre dos nodos, representada en la misma figura por los pares no ordenados P_{12} , P_{12} , P_{23} , P_{23} , P_{14} , P_{34} . Además, existe la posibilidad de indicar dirección en la relación entre dos elementos, por ejemplo si en uno de los puentes la vía tuviese un solo sentido. En tal caso, la conexión recibirá el nombre de *arco* y se ilustrará como una flecha entra o sale de cada nodo.

De hecho, son este tipo de diagramas gráficos le dan su nombre a la teoría de grafos. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que el objeto de estudio de esta rama de las matemáticas no es la representación gráfica en sí, sino lo que ésta describe: un conjunto de elementos en el cual algunos pares están conectados y otros no.

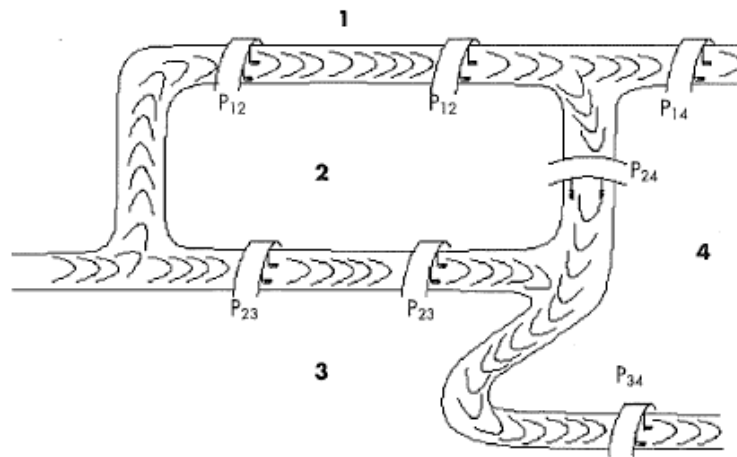


Figura. 2.1. La disposición de los puentes en la antigua ciudad de Könisberg en el siglo XVIII. (Menéndez, 1998, p.17)

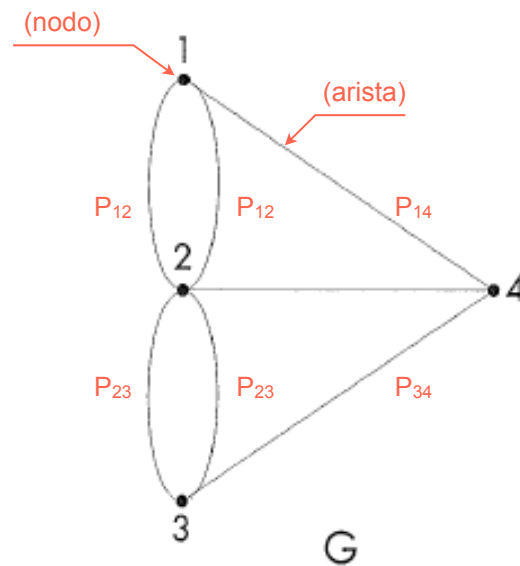


Figura. 2.2. Representación geométrica de un multigrafo histórico: el multigrafo de Euler, el cual simboliza la disposición de los siete puentes de la ciudad de Könisberg. Edición propia a partir del diagrama de Menéndez (1998, p.18)

Según resulte conveniente para su análisis, un mismo grafo se puede presentar de varias maneras. Por ejemplo, se puede enumerar como una lista de pares de elementos relacionados. También se puede ilustrar en forma de arreglo matricial o matriz; es decir, una tabla en donde todos los elementos aparecen ordenados tanto en el eje vertical como en el horizontal y en las intersecciones se especifica la relación que guarda cada par. Independientemente de la representación que se use, las propiedades del grafo se mantienen iguales. De tal manera, un grafo que originalmente se explica como diagrama puede transcribirse en forma de una lista y viceversa. Por un lado, la representación en forma de diagrama permite deducir algunas características del grafo en un vistazo; por el otro, la representación como matriz permite aplicar cálculo matricial para resolver sus valores críticos.

Desde sus orígenes, la teoría de grafos ha estado orientada a la solución de problemas prácticos (Menéndez, 1998, p.11) y se aplica hoy en áreas como la logística, el diseño de redes y el análisis de sistemas complejos, entre otros. Aquí, nos interesan las aplicaciones de la teoría de grafos en la descripción del espacio arquitectónico. Será importante tener en cuenta que la teoría de grafos solo puede describir al espacio como describe a todo lo demás: como una serie de elementos semejantes relacionados entre sí. Algunas de estas relaciones son topológicas; es decir, que expresan relaciones de vecindad o proximidad. La Figura 2.3 muestra una matriz de relaciones y un diagrama de funcionamiento que no dependen de la geometría para explicar relaciones espaciales. Ambos son un buen ejemplo del uso de grafos dentro de la práctica del diseño arquitectónico.

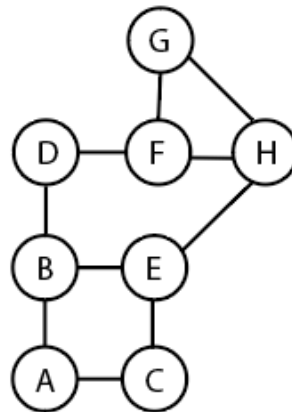
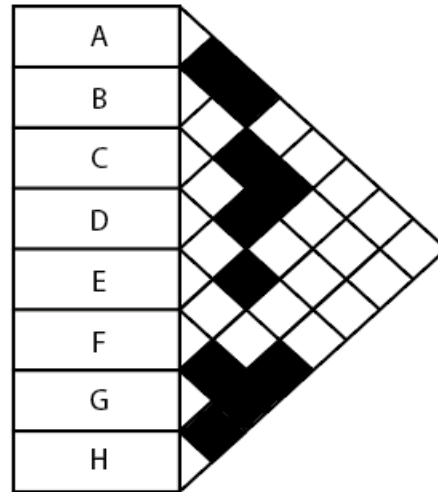


Figura 2.3. A) Matriz de relaciones B) Representación en forma de grafo de la misma matriz de relaciones. Elaboración propia.

La clasificación de los grafos no depende de la representación utilizada, sino del tipo de relaciones que se están describiendo. La clasificación más elemental de los grafos se hace entre dirigidos y no dirigidos, según si su relación es o no un vector. Se dice que un grafo es no dirigido cuando solo explica si dos elementos están relacionados, sin ofrecer mayor detalle. Por el contrario, se dice que el grafo es dirigido si la relación tiene una dirección implícita. En este segundo caso, la arista pasa a ser un vector y el par de vértices se considera un par ordenado. Los grafos dirigidos pueden resultar útiles, por ejemplo, para explicar conexiones de origen-destino, relaciones de mando, o de descendencia. Es preciso decir que los modelos de análisis espacial en arquitectura normalmente se construyen a partir de grafos no dirigidos, puesto que ilustra relaciones simétricas. Sin embargo, es importante conocer que existe este recurso y que pueden representarse vanos que son solo accesos o solo salidas; también relaciones de visibilidad unidireccionales como la que habría a través de un vidrio polarizado.

En otro aspecto, se dice que un grafo no está ponderado cuando todas las relaciones entre pares de elementos son equivalentes. Por otro lado, se dice que el grafo es ponderado si a cada relación se le asigna un valor diferenciado. En los modelos espaciales de arquitectura, normalmente se trabaja con grafos no ponderados. No obstante, un grafo ponderado permitiría incorporar atributos adicionales para la evaluación de un modelo. Por ejemplo, digamos que se traza una conexión entre dos habitaciones cuando existe una puerta. En principio todas las puertas son equivalentes. Sin embargo, si se ponderara la conexión según el ancho de la apertura, entonces una puerta con un vano 120cm representaría una conexión más robusta que la de una puerta de 90cm. Esta distinción puede resultar importante dependiendo del estudio particular que se realiza.

A partir de principios simples como los explicados hasta ahora, los grafos pueden abstraer una gran variedad de fenómenos. Las abstracciones se analizan después por medio de teoremas formulados por Euler y por otros investigadores. De tal manera, es posible calcular el camino más eficiente para llegar de un elemento a otro, o también, la capacidad que tiene el sistema para mantenerse integrado a pesar de que se eliminen algunas de sus partes. En el problema original de los puentes de Königsberg, los teoremas de Euler sirvieron para demostrar que, dadas las características de la red, no existía ninguna solución que permitiera cruzar cada uno de los puentes una sola vez y terminar en el mismo sitio donde se había empezado la ruta.

La teoría de grafos desarrolla herramientas matemáticas para resolver preguntas puntuales a partir de la estructura del sistema. Por eso, además de las dos clasificaciones presentadas con anterioridad, existen otras que refieren particularmente al arreglo entre los nodos. Por ejemplo, se dice que el grafo es completo si cada uno de los nodos está conectado con todos los otros; es regular, si todos los nodos tienen el mismo número de aristas incidentes; es conexo si todos los elementos están integrados en una sola red, etcétera. Estas distinciones técnicas resultan relevantes, ya que dentro de las matemáticas se han desarrollado algoritmos para deducir las características del grafo que son más eficientes en tanto son más específicos. Así, siempre que un problema pueda ser descrito en función de un grafo, es posible recurrir a herramientas diversas que no necesariamente se han especializado en problemas de arquitectura. Por ejemplo, Peponis et al. (2004, p.460) midieron relaciones unidireccionales de visibilidad por medio del *software Pajek* (Mrvar y Batagek, 1996), desarrollado por investigadores de la Facultad de Matemáticas y Física de la Universidad de Ljubljana para resolver problemas de redes de gran tamaño.

2.2 Modelos de análisis espacial

Ahora que se ha explicado el concepto del análisis de grafos, podemos centrarnos en distinguir las herramientas diseñadas para el análisis espacial. Hillier y Hanson mencionan el procedimiento que siguen para la construcción de sus modelos (Hillier y Hanson, 1984, p.52):

1. Identificar los objetos y relaciones irreductibles que conforman las estructuras elementales del sistema.
2. Representar estas estructuras elementales en algún tipo de notación o ideograma que sustituya a la narración verbal de las características del espacio.
3. Mostrar como se relacionan las estructuras elementales en un sistema coherente.
4. Mostrar las posibilidades de combinación de las estructuras elementales para formar estructuras de mayor complejidad.

De tal manera, cada modelo define cuáles son los elementos que corresponden a un nodo y cuáles son las relaciones que representan sus aristas de conexión. Cada modelo de análisis espacial trata de formular una definición clara de estas partes y, al hacerlo, genera una abstracción del espacio físico según propiedades estructurales que asume como relevantes. Cabe señalar que la terminología empleada en los modelos del campo arquitectónico pueden diferir de los empleados por el campo de las matemáticas. En el Apéndice I se incluye un glosario con términos de la teoría de grafos y su correspondencia con las metodologías de análisis espacial.

En su libro, *The Social Logic of Space*, Hillier y Hanson distinguen el análisis sintáctico de los asentamientos urbanos, que denominan análisis *alpha*, del análisis de espacios interiores, que denominan análisis *gamma*. (Ostwald, 2011, p. 446). El análisis tipo *alpha* concibe al espacio como un continuo sobre el que tenemos dominio, tal que elegimos transitarlo por las vías más

eficientes y provechosas. Por ello, tiene mayor aplicación para el análisis de calles, o conjuntos donde la existencia de particiones no implica restricciones de acceso o límites de territorialidad. El análisis tipo *gamma* abandona la concepción de un espacio continuo, pues parte de la noción de que los humanos lo dividimos en porciones diferenciadas para poder establecer distancia entre los miembros que componen una comunidad y las actividades que cada uno desarrolla. Por ello, se aplica con mayor frecuencia en el estudio de espacios interiores y compartimentados. Este tipo de análisis considera que una porción habitable está conectada con otra si y solo si existe posibilidad de transitar entre una y otra de manera directa. Además, es habitual que la representación sintáctica del espacio contemple un nodo adicional que sirve como indicador del universo fuera del área de análisis. Este nodo tipo contenedor (en inglés *carrier*) integra la idea de un espacio socialmente compartimentado que se instala en un espacio físicamente continuo.

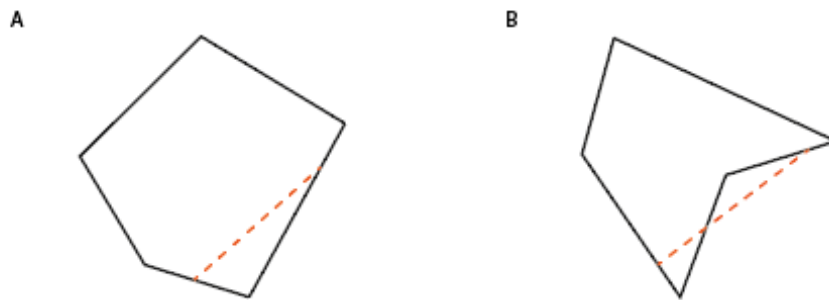


Figura 2.4. A) Figura convexa B) Figura cóncava. Elaboración propia.

2.2.1 Mapas convexos

De manera general, se asocia el análisis tipo gamma al análisis de espacios interiores. Cada habitación se considera una porción diferenciada del espacio y se estudian las relaciones entre ellas con la misma lógica que utilizan los arquitectos al estructurar el diagrama de funcionamiento de un edificio. Sin embargo, especialmente en las áreas públicas de los edificios, puede ser que los compartimentos del espacio no aparezcan claramente definidos. En tal caso, Hillier y Hanson propone segmentar el espacio total en porciones convexas, definidas como aquellas en que es posible conectar cualquier par de puntos interiores mediante una línea recta sin necesidad de atravesar el perímetro de la figura (Hillier y Hanson, 1984, p.92-.97) (Ver Figura 2.4).

A partir de esta definición se construyen mapas convexos, compuestos por la menor cantidad de segmentos necesarios, procurando que cada uno tenga el mayor tamaño posible. Los mapas convexos no representan acciones de segregación social en el mismo sentido que el análisis gamma. En este caso, se presume que una persona puede transitar de un área a otra de manera libre, pero se reconoce que el espacio no es homogéneo, sino que se compone de sectores aprehensibles o entornos diferenciados. El que dos individuos ocupen el mismo espacio convexo no solo representa igualdad en sus posibilidades de acceso, sino una condición de copresencia o coterritorialidad. Ya que se puede trazar una línea recta entre todos los puntos de un espacio convexo, estos dos individuos tendrán cada uno conocimiento sobre la presencia del otro.

El análisis convexo presenta algunos otros problemas de representación. Varios autores han resaltado que es posible crear múltiples mapas convexos a partir del mismo plano, por lo que la sectorización del espacio depende en gran medida del criterio del investigador. Además, en la práctica se combinan premisas del modelo alpha y del modelo convexo como si representaran el mismo tipo de objetos y relaciones. Como se puede observar en la Figura 2.5, es normal que una figura convexa sea suficiente para describir el espacio que pudiéramos asociar con una habitación, sobre todo si se trata de cuartos rectangulares. Pero aún en los casos en los que la definición geométrica del espacio convexo no se cumple, algunos investigadores utilizan la función social de una habitación como unidad espacial para construir mapas convexos (Behbahani et al., 2014, p.685). A pesar de las posibles deficiencias en la representación, el estudio de mapas convexos es una de las prácticas más recurridas en el análisis espacial.

Una vez que se ha determinado el mapa convexo que mejor representa la configuración del espacio, éste puede representarse en forma de un grafo no dirigido con raíz, lo cual es mejor conocido en el campo del análisis espacial como un gráfico justificado (j-graph) para explicar las rutas posibles hacia cada uno de los componentes convexos del espacio (Ver Figura 2.5). Como puede observarse, este grafo asemeja la reconstrucción del diagrama de funcionamiento que se utiliza como parte del proceso de diseño arquitectónico.

Cuando el grafo se representa de esta manera, es posible calcular la distancia topológica desde el origen y asignar un valor de **profundidad relativa** a cada porción del espacio, indicada en el extremo derecho de la Figura 2.5. Una mayor profundidad relativa significa que el espacio es menos accesible desde el punto de referencia: para acceder a un espacio con profundidad tres es necesario acceder primero a un espacio con profundidad dos. Este valor variará para un mismo espacio en función del punto que se toma como referencia, aunque es normal que se utilice el medio exterior

como raíz. Esta aproximación tiene sentido desde el punto de vista del modelo alpha, pues en teoría toda persona libre tiene acceso al espacio público y se va encontrando con una mayor cantidad de restricciones a medida que trata de ingresar a espacios privados.

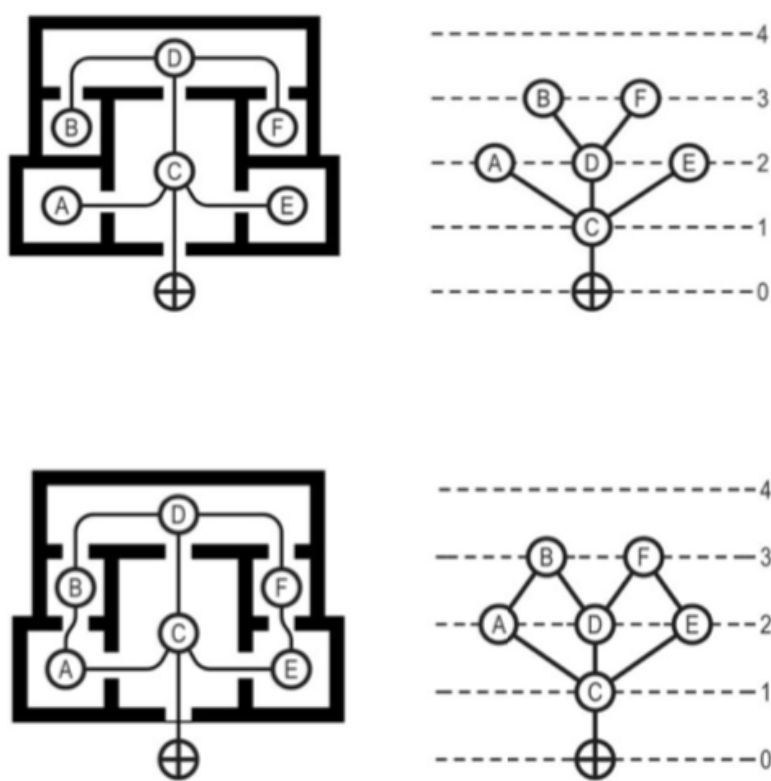


Figura 2.5. Mapas convexos de dos plantas arquitectónicas y su correspondiente grafo justificado. Imágenes recuperadas de Dawes y Ostwald, 2012.

La **profundidad total** de un nodo es el cálculo agregado de la distancia topológica que existe desde cada posible punto de referencia en el sistema. A medida que el sistema crece, crece también la profundidad total de cada nodo. Por esto, el análisis convexo ha propuesto una medida normalizada de profundidad conocida como **integración**. La integración permite evaluar la profundidad total de cada nodo en proporción a la del resto de nodos en el sistema, para así comparar si el espacio de menor profundidad en una cafetería da lugar a fenómenos similares que el espacio de menor profundidad en un museo con decenas de salas.

Otra variable importante en el análisis convexo es la **conectividad**, que correspondería al cálculo de valencia de cada nodo en el análisis de grafos. Este valor representa el número de conexiones directas desde cada nodo. A mayor número de conexiones, existen más alternativas para entrar o salir de cada sitio. Cuando la conectividad y la integración de un espacio coinciden, se piensa que existe un mayor grado de **inteligibilidad**. Es decir, que es más fácil para un visitante comprender la estructura del espacio y acceder a los sitios más relevantes para cumplir con las funciones sociales del mismo. Por ejemplo, en el caso de un teatro, los espacios mejor conectados e integrados serán el vestíbulo y el auditorio, por lo que sería fácil para una persona encontrar su camino tanto a la llegada como a la salida. Por supuesto, estas relaciones se complican una vez que el acceso al auditorio se sectoriza mediante la asignación de las butacas. No obstante, la mayor integración del auditorio aún permitirá relaciones de copresencia entre la audiencia, sin que ello signifique una posibilidad de interactuar realmente unos con los otros.

2.2.2 Mapas axiales

El mapa axial se construye a partir de un conjunto mínimo de líneas de visión y circulación que sean suficientes para atravesar todos los espacios convexos del sistema analizado (Turner et al., 2001, p.105). Por su naturaleza, el análisis axial ha tenido la mayor aplicación en estudios del

espacio público, principalmente de índole urbana, a partir de una variación en la cual la línea axial se sustituye por el eje de la vialidad (RCM por sus siglas en inglés). En arquitectura, se utiliza para ilustrar la facilidad que ofrece una configuración para la orientación y navegación dentro de los espacios. El modelo axial da lugar a diferentes representaciones que se explican a continuación:

a) Modelo axial clásico

El modelo axial clásico muestra los recorridos rectos mínimos que tendrían que desarrollarse para tener dominio sobre todo el espacio. En este caso, el conjunto mínimo de líneas de circulación se ilustra como nodos en el grafo, mientras que las intersecciones entre líneas se consideran sus aristas. Bajo este modelo, concebimos el espacio como una misma unidad siempre que no necesitemos cambiar de dirección para caminarlo. Por supuesto a medida que recorremos esa unidad espacial obtenemos mayor información sobre el medio circundante. El modelo parte de la premisa de que los seres humanos tenemos una tendencia a desplazarnos en línea recta, y que conceptualizamos las rutas más económicas como las que nos demandan el menor número de redireccionamientos. La Figura 2.6 ilustra la construcción de un mapa axial a partir de un mapa convexo

b) Modelo de segmentos

Por un lado, el mapa de segmentos, en el cual cada tramo de la línea de visión que ocurre entre dos intersecciones se considera un elemento diferente (Ver Figura 2.7). El modelo de segmentos supone que cada intersección de caminos supone una decisión sobre seguir adelante o cambiar de rumbo, por lo que reconoce distancias mayores en recorridos que ofrecen más conexiones. El modelo de segmentos sirve para reconocer los tramos que son susceptibles de una mayor afluencia, puesto que forman parte del mayor número de rutas necesarias para acceder a todo el espacio.

Ya que el modelo de segmentos es una derivación del modelo axial, algunos de sus elementos pueden resultar triviales y no significar el acceso a información adicional sobre el medio.

Además de las medidas de profundidad e integración basadas en distancias topológicas, los mapas de segmentos permiten estimar distancias angulares y calcular el número de grados que una persona necesita girar para llegar de un punto a otro. Por convención, las distancias angulares se miden como un paso (giro) por cada 90° , de manera que dos cambios de dirección de 45° son equivalentes a un paso. En términos de distancias angulares, los mapas de segmentos y los mapas axiales clásicos se interpretan de manera semejante, ya que dos segmentos de una misma línea no representan ningún incremento de la distancia angular.

c) Modelo axial dual

Un mapa axial dual (Ver Figura 2.8), también llamado de intersecciones, que utiliza los mismos elementos que el análisis de segmentos, pero invierte su representación, de manera que los extremos e intersecciones se representan como nodos, mientras que los segmentos que las conectan representan las aristas del grafo (Behbahani et al., 2014, p.687).

El modelo axial dual representa el conjunto mínimo de puntos de decisión para cambiar de ruta. Estos puntos pueden ser considerados como puntos claves de comunicación para establecer una red a lo largo del sistema, aunque no representan dominio total sobre el espacio. Puede verse en la Figura 2.8 que aunque sería posible hacer llegar un mensaje desde el punto 1 hasta el punto 10, no habría ningún nodo que permitiera compartirlo con la habitación D.

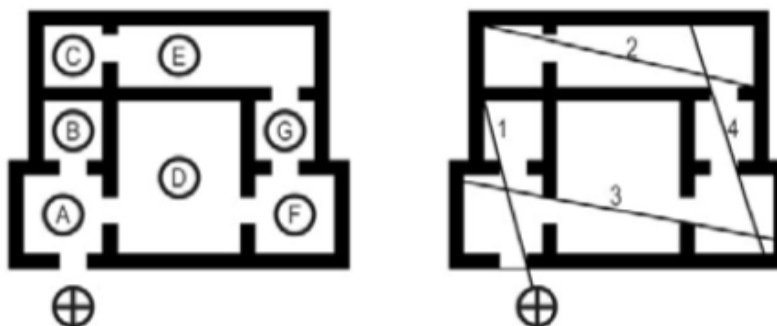


Figura 2.6. Mapa convexo y mapa axial de la misma planta arquitectónica. Imágenes recuperadas de Dawes y Ostwald, 2012.

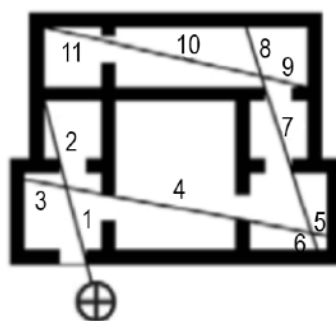


Figura 2.7. Mapa de segmentos. Elaboración propia a partir de los diagramas de la Figura 2.6.

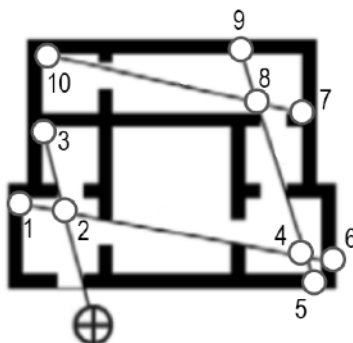


Figura 2.8. Mapa axial dual. Elaboración propia a partir de los diagramas de la Figura 2.6.

Como se puede ver en las Figuras 2.6 a 2.8, los mapas axiales pueden cubrir el total del espacio con menos elementos que el espacio convexo, de tal manera que no todas las habitaciones de un edificio aparecen necesariamente representadas. No obstante, por su propia definición, el mapa axial depende en gran medida del mapa convexo subyacente y por tanto hereda todas sus ambigüedades. Si las pasamos un momento por alto, podemos encontrar que cada uno de los modelos mencionados representa al espacio de una manera particular.

Una vez que se ha construido el mapa correspondiente, es posible analizarlo con criterios semejantes a los que se explicaron para el análisis de mapas convexos. La Figura 2.9 muestra la construcción de un mapa justificado a partir de un mapa axial. Como se puede ver en las Figuras 2.6 a 2.8, los mapas axiales pueden cubrir el total del espacio con menos elementos que el espacio convexo, de tal manera que no todas las habitaciones de un edificio aparecen necesariamente representadas. No obstante, por su propia definición, el mapa axial depende en gran medida del mapa convexo subyacente y por tanto hereda todas sus ambigüedades. Si las pasamos un momento por alto, podemos encontrar que cada uno de los modelos mencionados representa al espacio de una manera particular.

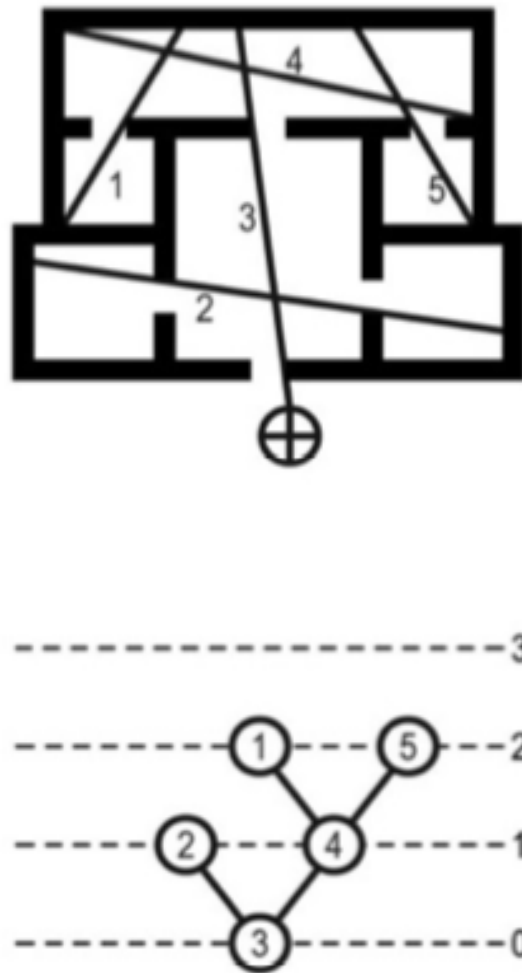


Figura 2.9. Grafo justificado construido a partir de un mapa axial. Imágenes recuperadas de Dawes y Ostwald, 2012.

2.2.3 Isovistas y polígonos de proyección

Las isovistas son un modelo de análisis que precede a las metodologías de *Space Syntax*. En 1979, Michael Benedikt rescató la idea del psicólogo ambiental J.J. Gibson según la cual el conjunto de radiaciones luminosas que inciden sobre un sujeto constituye toda la información visual que tal sujeto tiene sobre el medio en un momento dado. A este conjunto de radiaciones, que Gibson refiere como arreglo visual, Benedikt les llamó isovistas y propuso utilizarlas como un método cuantitativo para describir el espacio arquitectónico. Una isovista, también referida como polígono de visibilidad, puede definirse como “la región plana visible para un individuo situado” en determinada localización (Abajo y Delgado, 2018, p.40).

La representación original de las isovistas es una geométrica, por medio de polígonos; sin embargo, las isovistas también pueden abstraerse por medio de un grafo (Ver Figura 2.10). En este caso, se distribuyen puntos de análisis en el espacio que sirven como nodos del grafo; si estos puntos son visibles entre sí, entonces se dibuja una relación de visibilidad por medio de una arista. Bajo esta nueva representación, una isovista puede definirse como el conjunto de nodos que se encuentran directamente conectados al punto de referencia; es decir, aquellos sobre los cuales se tiene dominio visual. Puesto que los puntos de análisis están distribuidos de manera homogénea sobre una retícula, es posible aproximar algunas propiedades geométricas de la isovista a partir de su grafo, como su área, perímetro y centroide.

De la mano de Benedikt, McElhinney (2020) desarrolló el software IsovistsApp que permite estudiar isovistas en cuatro diferentes representaciones:

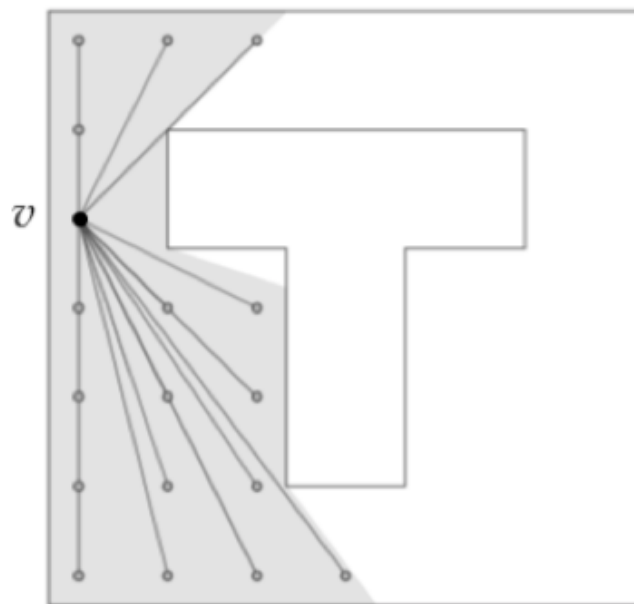


Figura 2.10. Superposición de la representación geométrica y gráfica de una isovista. (Imagen recuperada de Abajo y Delgado, 2018)

a) Isovistas puntuales

Existen varias maneras de aproximarse al análisis de isovistas. La aproximación más sencilla es el análisis de isovistas puntuales, que consiste en la descripción de las propiedades geométricas de un polígono de visibilidad dado un punto de referencia para el observador. Los atributos del espacio que explica el análisis de isovistas puntuales son de carácter estrictamente local: “ignora tanto la relación de cada localización con todo el espacio como las relaciones entre las diferentes localizaciones de una isovista”. (Abajo y Delgado, 2018, p.40).

El análisis puntual de isovistas puede expresarse como una sombra de proyección, lo cual ofrece ya bastante información sobre los elementos que están incluidos en el entorno del observador. Además, las propiedades geométricas de la isovista ofrecen alguna información adicional sobre la posición que guarda el observador y sus mejores oportunidades para acceder a información adicional sobre el medio.

Por ejemplo, una mayor área de visibilidad implica que el observador se encuentra en un espacio amplio. Cuando el perímetro es mínimo con respecto al área, significa que el espacio observado es de planta circular. A medida que el perímetro crece en proporción al área, significa que el espacio visible se deforma formando picos, o bien estirándose en una dirección como ocurriría en un pasillo. A esta gradación entre el espacio circular y el espacio amorfo se le asigna una magnitud de **circularidad** o **compacidad**.

Por otra parte, Benedikt identifica que los bordes de una isovista pueden estar delimitados por tres medios diferentes. Los bordes sólidos corresponden a obstáculos reales. Los bordes radiales corresponden a la proyección que se genera por tales obstáculos. Finalmente, algunos bordes pueden provenir de la delimitación del área de análisis y podrían asociarse con el rango visual del observador, cuando representan el acceso a información que se torna ilegible a la distancia. La medida de **oclusividad** distingue la proporción que existe de bordes sólidos con respecto del resto,

normalmente bordes radiales. Esta medida ofrece una noción de la capacidad que tiene el observador de obtener mayor información sobre el medio a medida que el sujeto cambia su posición. En una habitación, donde todos los bordes los forman muros sólidos, la información no variará de ninguna manera mientras uno la recorre de extremo a extremo. Sin embargo, en la nave central de una iglesia, cada columna obstruye cierta información visual, por lo que cada paso en el recorrido implicará variaciones significativas sobre los estímulos a los que se expone el observador.

La Tabla 2.1 resume algunas de las principales variables geométricas y aritméticas que se toman en consideración dentro del análisis de isovistas. Esta tabla se acompaña de una representación gráfica que intenta facilitar la interpretación de los valores. A pesar de las interesantes conclusiones que pueden derivarse de las propiedades de una isovista, debe tenerse en consideración que cada una de esas variables corresponde solamente a atributos aritméticos. De manera aislada un mismo valor para una variable puede representar una variedad de escenarios y, por tanto, resultar insuficiente para ilustrar una experiencia espacial particular.

Tabla 2.1. Variables geométricas y aritméticas de una isovista

Variables determinadas	Definición conceptual
Punto de referencia	Posición del observador. Origen del polígono de proyección.
Área (Av)	Área de todo el espacio visible desde cada punto en el plano. Representa el número de otros nodos que están conectados de manera directa al punto referido.
Contorno físico	Perímetro de la isovista formado por elementos físicos
Contorno oclusivo	Perímetro de la isovista resultante de una obstrucción visual.
Perímetro(Pv)	Longitud de borde de todo el espacio visible desde una posición dada.
Circularidad (Cv)	Relación formal con respecto a un círculo de todo el espacio visible desde cada posición.
Oclusividad (Ov)	Proporción de los bordes de una isovista que no están definidos por elementos físicos, dando lugar a cambios en la visibilidad resultado del movimiento.
Longitud radial máxima (Hv)	Máxima distancia perceptible desde cada locación. Permite identificar zonas con una dirección marcada.
Longitud radial mínima	Distancia al obstrucción visual más cercana desde cada locación. Permite identificar la cercanía a obstáculos.
Longitud radial promedio (Qv)	Distancia perceptible promedio desde cada posición en el plano.
Desviación estándar de radiales	Suma de las diferencias entre cada radial y la radial promedio, dividida entre el total de radiales.
Dispersión	Diferencia entre la radial promedio y la desviación estándar de las radiales.
Varianza o segundo momento	Cuadrado de la desviación estándar.
Coficiente de desplazamiento (Dv)	Distancia desde cada punto al centroide de su campo visual.
Curvatura (Uv) o tercer momento Skewness	Suma de los cubos de las diferencias entre cada radial y la radial promedio, dividida entre el total de radiales. Índice de asimetría en el perímetro, que implica convexidad o concavidad cercana al punto de análisis.

Fuente: Isovists.org

b) Perfiles de visión serial

A medida que nos desplazamos, algunas porciones del espacio se vuelven invisibles a nuestros ojos, mientras que otras nuevas quedan a nuestro alcance a medida que libramos obstáculos visuales. Por eso, un segundo tipo de análisis consiste en seleccionar varios puntos consecutivos y registrar en una gráfica los atributos geométricos de cada una de sus isovistas. El mapeo del recorrido visual permite ver cómo varían las propiedades de las isovistas a lo largo de un camino. A esto Conroy y Dalton (2001) lo denominan *route vision profile* y establecen una analogía entre éstos y los ejercicios de valoración cualitativa de la experiencia visual que propuso Lynch en 1965 (p. 25.5). Los perfiles de visión serial se desarrollan normalmente sobre puntos arbitrarios del espacio, o puntos de interés para el diseñador. Sin embargo, podría considerarse algún criterio más objetivo para este análisis, como podría ser el análisis comparativo de los nodos de un mapa axial dual.

c) Campos de isovistas

Para superar la restricción de la isovista puntual para describir información local y poder relacionar la información sobre diferentes localizaciones, Benedikt (1979) proponía el uso de campos de isovistas (p.49). Este tercer tipo de análisis se construye calculando las propiedades de visibilidad para múltiples posiciones de referencia e interpolando los valores para obtener gradaciones continuas. Los campos de isovistas normalmente se representan de manera gráfica como una gradación que normalmente va del azul oscuro para valores mínimos, hasta rojo para valores máximos (Ver Figura 2.11). En este sentido, presentan valores normalizados o relativos al área total de análisis, por lo que podemos saber cuáles son las locaciones con valores medios y extremos para cada atributo. El problema con los campos de visibilidad, es que solo permiten estudiar un atributo de la isovista cada vez. Por ello, aunque sean vistosos, puede ser difícil traducirlos en información útil para el investigador o el diseñador.

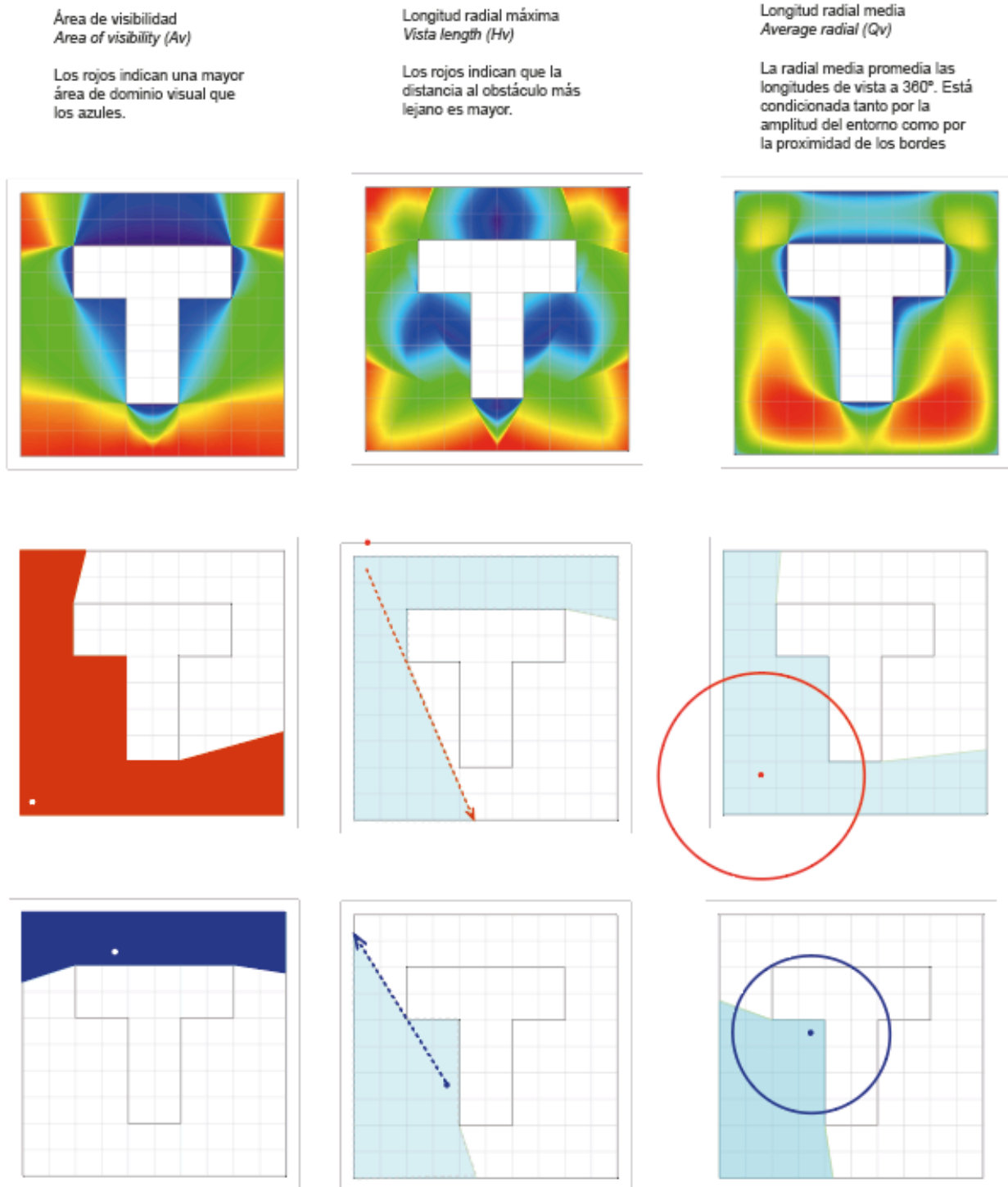


Figura 2.11. Representación de las condiciones variables de visibilidad a través de campos de isovistas. Elaboración propia utilizando el programa Iovist App desarrollado por McElhinney.

d) Isovistas parciales e isovistas 3D

Según hemos expuesto hasta ahora, las isovistas normalmente consideran la posibilidad del sujeto de mirar en todas las direcciones y ponderar de manera equitativa las proyecciones a 360° siempre que ocurran sobre el mismo plano bidimensional. Algunos autores opinan que la aproximación panóptica no es representativa de la experiencia humana y han trabajado sobre la idea de isovistas parciales, que consideran un rango de visión menor, por ejemplo de 90° (Conroy en Montello, 2007, p.iv-05).

Con respecto a la restricción bidimensional, sin duda es posible calcular una isovista 3D a partir de un grafo siempre que se distribuyan puntos de análisis en alturas diferentes. En un sentido geométrico, sería posible trazar un poliedro, en vez de un polígono de visibilidad. Si la propuesta de Benedikt se desarrolla en dos dimensiones es por una economía en el manejo de información. La premisa que menciona es que nuestras actividades dependen de nuestro movimiento en un plano bidimensional, y por tanto, es la información que recabamos sobre este plano la que impacta de manera más importante a nuestras decisiones. Ahora que existe mayor capacidad de cómputo, algunos autores ya estarán trabajando isovistas 3D.

e) Otros polígonos de proyección

Otra solución bastante difundida es la de analizar polígonos de proyección, semejantes a una isovista, a nivel de piso. Algunos autores suponen que este polígono, al que denominan de accesibilidad, puede representar las rutas posibles para un individuo pues señala los obstáculos que encuentra al desplazarse. En mi opinión, no es posible hacer un paralelismo tal entre los estímulos visuales y las capacidades locomotoras. No obstante, este tipo de ejercicios resaltan el hecho de que la estructura del campo visual es variable según la altura visual del observador.

2.2.4 Análisis de grafos de visibilidad

La tercera metodología de análisis de Space Syntax es el Análisis de Grafos de Visibilidad (VGA) que Turner y otros propusieron con el objetivo de aumentar la resolución de los análisis previos y para reducir la ambigüedad en la construcción de los mapas convexos (Turner et al., 2001). Este análisis es la intersección entre el estudio de isovistas y la sintaxis espacial pues se construye a partir de un grafo de localizaciones intervisibles (Abajo y Delgado, 2018, p. 39)

El análisis VGA segmenta el espacio con una retícula de puntos distribuidos de manera homogénea, para después evaluar las relaciones de visibilidad y permeabilidad en línea recta entre cada par de puntos. Los puntos de referencia se representan como nodos en una gráfica, mientras que sus relaciones de intervisibilidad se representan como aristas (Conroy y Dalton, 2001, p. 25.5). En este sentido, el análisis parte de una base semejante a la que se usa para construir los campos de isovistas, pero no deduce los valores geométricos derivados, sino que centra su análisis en las relaciones de intervisibilidad. Mientras que los campos de isovistas evalúan valores locales de cada nodo, el análisis VGA calcula valores globales y sintácticos.

En principio, el análisis VGA está considerado para áreas de estudio tan grandes como un edificio. Puesto que el número de nodos que resultaba era muy grande, Turner y su equipo propusieron sintetizar la información en los denominados *e-spaces*. Los *e-spaces* representan conjuntos de puntos mutuamente visibles. Es decir, que a través de este modelo se puede expresar también un tipo de mapa convexo.

El análisis VGA de conectividad es uno de los usados con mayor frecuencia. Ilustra en rojo los puntos con la mayor cantidad de puntos intervisibles y en azul los puntos con la menor cantidad de puntos intervisibles. En este sentido, se asemeja a un campo de isovistas calculado para el valor de área visible.

Otra medida calculada mediante el VGA es el coeficiente de agrupamiento. Dado el conjunto de vértices visibles desde una posición dada, el coeficiente de agrupamiento denota la proporción de estos que a su vez sostienen relaciones de intervisibilidad (Abajo y Delgado, 2018, p. 47). Una isovista de forma convexa tendrá un coeficiente de agrupamiento de 1, denotando estabilidad en la percepción visual, como la que se mencionó anteriormente para el caso de una habitación cuadrada. Un coeficiente de agrupamiento menor indicará la existencia de escondites dentro del espacio que provocan variaciones considerables en la información visual, similar a la estructura que se mencionaba anteriormente para la configuración de la iglesia. De esta manera, la medida sintáctica del coeficiente de agrupamiento puede ofrecer información semejante a los campos de visibilidad para el valor de oclusividad, que dependía de valores geométricos

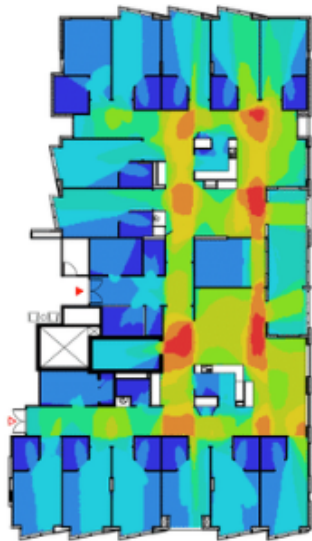


Figura 2.12. El análisis VGA de conectividad

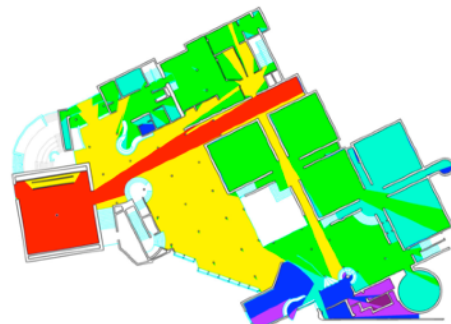


Figura 2.13. Profundidad de vista desde un punto de referencia con análisis de VGA alterno. Imagen recuperada de Isovists.org

Además, se desarrolló un segundo tipo de metodología utilizando grafos de visibilidad, en el cual se considera que dos puntos están conectados cuando sus isovistas se empalman, pero cada uno de los puntos de referencia está fuera de la isovista contraria (Turner et al., p. 107). En este caso, la profundidad media representa el promedio de giros visuales que un observador tendrá que hacer desde un punto del espacio para visualizar el resto del área de análisis. (Abajo y Delgado, 2018, p. 48). A pesar de sus beneficios, esta metodología tampoco integra unidades de ocupación inteligibles en las cuales se pueda subdividir una habitación (Koutsolampros et al., 2018, p. 2).

Como hemos dicho anteriormente, los modelos de análisis espacial son muy parecidos entre sí. Esto ocurre porque en cada uno se describen fracciones independientes del espacio y algún tipo de relación que mantienen tales fracciones entre sí. La Tabla 2.2 resume las particularidades de los diferentes modelos estudiados:

Tabla 2.2 Elementos y relaciones descritos por cada modelo de análisis espacial.

Modelo	Elemento	Relación	Tipo de grafo
Modelo <i>gamma</i>	Espacios compartimentados	Permeabilidad	Dirigido
Modelo convexo	Espacios convexos de mayor tamaño	Permeabilidad	No dirigido
Modelo axial	Líneas rectas más largas necesarias para atravesar los espacios convexos	Intersección	No dirigido
Modelo de segmentos	Segmentos de las líneas más largas necesarias para atravesar todos los espacios convexos	Continuidad	No dirigido
Modelo axial dual	Intersección entre las líneas rectas más largas necesarias para atravesar los espacios convexos	Permeabilidad en línea recta	No dirigido
Isovista puntual	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio	Visibilidad respecto de un punto de referencia	Bipartido
Recorridos visuales	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio	Visibilidad respecto de varios puntos de referencia	Bipartido
Polígono de proyección de accesibilidad puntual	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio	Permeabilidad en línea recta respecto de un punto de referencia	Bipartido
Campos de accesibilidad	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio	Permeabilidad en línea recta	No dirigido
Campos de visibilidad (VGA no sintáctico)	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio	Intervisibilidad	No dirigido
Análisis de Grafos de Visibilidad (VGA sintáctico)	Zonas de covisibilidad no intersectadas	Intervisibilidad	Dirigido

Fuente: Elaboración propia.

Los modelos descritos anteriormente son los que más comúnmente se utilizan en el análisis espacial en edificios. Especialmente, si los investigadores se encuentran asociados al laboratorio de *Space Syntax*. Desde 1988 se han desarrollado más de 30 aplicaciones informáticas para el análisis de mapas convexos, axiales y de visibilidad. Sin embargo, alrededor de la mitad de éstas ya no estaban en operación en 2022 (Dursun, et al. 2022, p.4).

Ahora bien, supongamos que quisiéramos analizar lo que ocurre al interior de una habitación. En la mayoría de los casos, una habitación puede llegar a ser equiparable al espacio convexo, la máxima línea visual, la unidad programática diferenciable o el entorno de mutua visibilidad. Es decir, que si consideráramos todas las puertas cerradas, un solo elemento o nodo en el grafo bastaría para describir la habitación en su totalidad. Por supuesto, a medida que el espacio habitable se hace complejo y la habitación adopta una forma con más intersticios, esto dejará de ser cierto.

El hecho de que la habitación corresponda a un nodo dentro del sistema o grafo, limita el tipo de propiedades que podemos derivar de los análisis sintácticos convencionales. Por ejemplo, podemos evaluar la probabilidad de que la habitación forme parte del recorrido más eficiente y se convierta en un lugar potencial de encuentro. Sin embargo, esto parte del supuesto de que todas las habitaciones que conforman el edificio son equivalentes entre sí. El modelo explica las propiedades de la habitación dentro del sistema, pero no aborda las propiedades específicas de la unidad que pudieran alentar que el visitante lo elija como lugar de destino. Por su parte, los análisis de isovistas y otros polígonos de proyección son capaces de describir propiedades más particulares de las habitaciones.

Además, la representación gráfica de los campos de visibilidad está integrada. Ello significa que los valores que se muestran son relativos al total del sistema analizado y no a los atributos particulares de la región analizada.

Esto último dificulta la comparación entre proyectos de dimensiones y características distintas.

2.3 Registro del movimiento en el espacio

Cada uno de los modelos de análisis descritos hasta ahora hace una representación diferente del espacio según atributos que considera relevantes para su uso e interpretación por parte de las personas. Luego, para poder demostrar su influencia en nuestros hábitos y actividades, los investigadores buscan cuáles son los valores en el modelo que se correlacionan de manera significativa con determinados fenómenos sociales. Por ejemplo, es común aceptar que los espacios mejor integrados en un análisis alpha o gamma son los que invitan a una mayor cantidad de interacciones no programadas entre personas; es decir, que son los lugares de mayor sociabilidad. Este tipo de relaciones de dependencia entre variables espaciales y conductas sociales se infieren a partir del análisis estadístico de casos de estudio particulares. Por ello, consideramos que para hacer una interpretación cauta de los hallazgos del análisis espacial, es preciso tener un antecedente sobre los diferentes modos en que los investigadores documentan la presencia y el movimiento de las personas en el espacio.

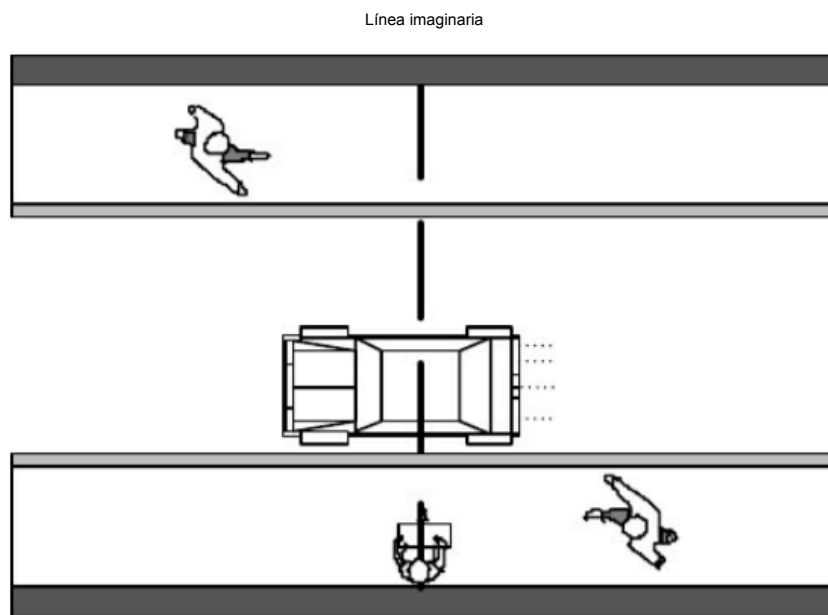
2.3.1 Manual de observación de Space Syntax

El Laboratorio de Space Syntax promueve un manual de observación para registrar las actividades humanas en el espacio. El manual, escrito originalmente por Tad Grajewski en 1992 y actualizado por Laura Vaughan en 2001, aborda de manera didáctica una variedad de técnicas para registrar eventos tanto en el contexto urbano como en edificios. Estas técnicas también son utilizadas por otros investigadores con algunas variaciones.

Cuenta de pases (*Gate-method*)

Consiste en contar el número de individuos que cruzan algunos puntos de control previamente definidos. Los conteos se realizan por periodos que rondan habitualmente entre los 2.5 y 5 minutos y pueden diferenciar categorías de individuos. El conteo se repite en diferentes horarios y días de la semana para después ser procesado estadísticamente (Vaughan, 2001, pp. 3-6).

Aunque la cuenta de pases es uno de los métodos más populares, está limitado en cuanto al tipo de información que puede proveer. Los puntos de control normalmente se sitúan en puntos de acceso o áreas de flujo controlado donde ya es previsible que exista movimiento. En realidad, lo que esta técnica permite conocer es la densidad de población entre puntos de control ineludibles y, en ciertas ocasiones, la dirección de los flujos. Sin embargo, no ofrece información adicional sobre lo que ocurre en los intersticios.



Punto de control	Hora	Hombres en movimiento	Mujeres en movimiento	Adolescentes en movimiento	Niños en movimiento
1	12:05	///	//	/	
2	12:12	////	\\		//
3	12:17	/	//		
4	12:22	///	///	///	//

Figura 2.14. Ejemplo de registro de cuenta de pases.
 Imágenes recuperadas de Vaughan, 2001, pp.4 y 5.
 Traducción propia

Registro sincrónico (*Static snapshot*)

Consiste en el registro de la actividad de una habitación o entorno visible en un momento determinado dentro de un croquis en planta previamente preparado. La técnica trata de capturar la distribución de las personas, así como las actividades realizadas. Aunque el manual describe que puede ser utilizado para registrar movimiento, en realidad solo es posible registrar que determinados individuos se mueven y apuntar su dirección, pero como en la cuenta de pases, solo brindará información sobre una de las posiciones que conformaron su ruta. Si bien el registro sincrónico trata de capturar más detalle sobre la actividad al interior del espacio, también admite un alto grado de abstracción sobre los eventos observados. El manual refiere que en espacios concurridos es normal que el observador no sea capaz de registrar más que el 75% de los eventos (Vaughan, 2001, p.8). A pesar de sus limitaciones, el método de registro sincrónico puede servir para ilustrar preferencias de ubicación de los usuarios en determinadas locaciones.

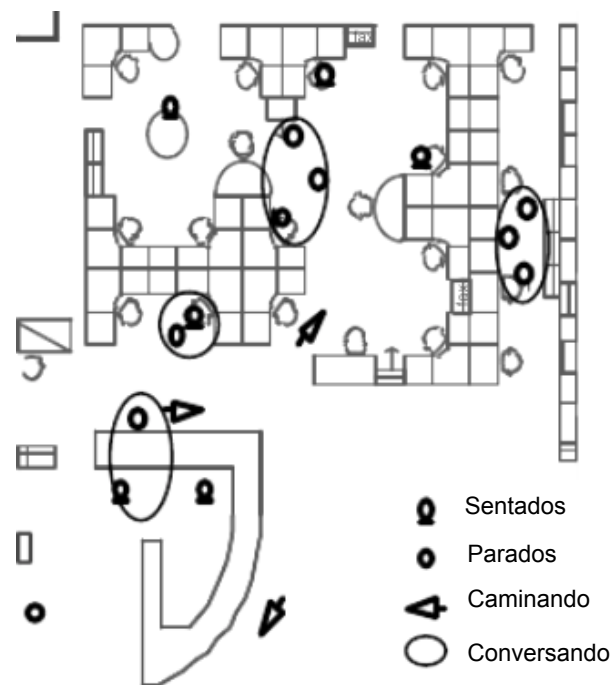


Figura 2.15. Ejemplo de una ronda de registro sincrónico.
Imagen recuperada de Vaughan, 2001, p.8. Traducción propia.

Seguimiento de ruta (*People following* o *tracking*)

La técnica de seguimiento de ruta consiste en registrar los pasos de un solo sujeto durante una parte de su estancia en el lugar. En esta técnica, no se acostumbra recabar demasiadas muestras; en cambio, presta mayor atención al detalle de los recorridos. Por ejemplo, Kaynar, Psarra y Wineman, siguen entre 25 y 34 visitantes para cada caso de estudio, registrando tres patrones de comportamiento: navegación, atención y reconocimiento del área (2009, p. 094:1). El registro de navegación lo realizan mediante el dibujo de líneas con dirección de movimiento. Las paradas se registran cuando el visitante hace una pausa de al menos un segundo viendo la pieza exhibida. Las paradas de reconocimiento se registran cuando un visitante se detiene al menos un segundo y mira alrededor. Peponis y otros (2003, pp. 29.3-29.4) utilizan una técnica semejante, pero en lugar de realizar los registros en forma croquis, utilizan una serie de marcadores de posición, que complementan con claves de comportamiento.

La información obtenida a través del seguimiento de ruta puede convertirse en estadísticos a través de medidas equivalentes a la de cuenta de pases y registro sincrónico. Choi propone medir la población (*tracking score*), para contar el número de personas y las visitas (*tracking frequency*) al número de visitas que ingresan en una sala (1997, p. 16.5). En este caso, no se obtiene información sobre el total de personas que ocupan cada habitación, pero es posible obtener una proporción relativa de la distribución entre el número de personas seguidas.

Entre otros métodos se incluyen el de dispersión de rutas (*directional splits*) se centra en contabilizar la distribución de individuos que atraviesan un punto de control y después se dispersan en diferentes rutas (Figura 2.16).

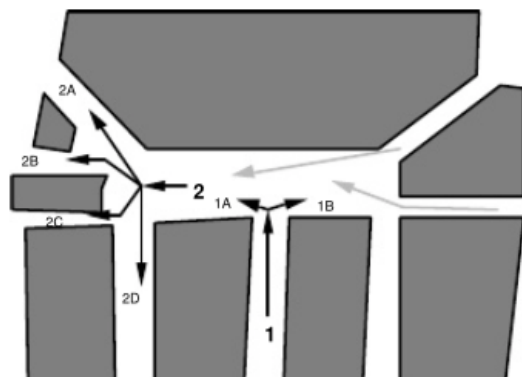


Figura 2.16. Ejemplo de un código para conteo sobre dispersión de rutas. Imagen recuperada de Vaughan, p.12

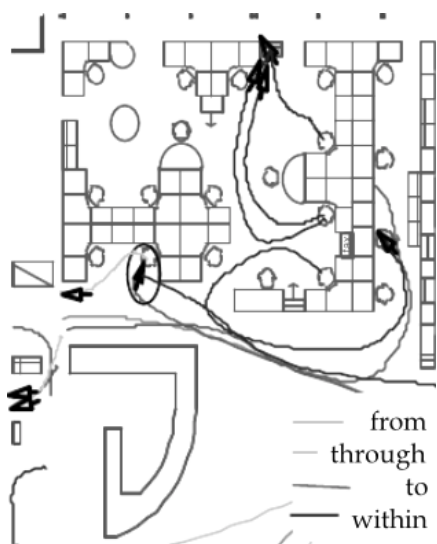


Figura 2.17. Ejemplo de un trazo de movimiento. Imagen recuperada de Vaughan, p.13

El método de trazos de movimiento (*movement traces*) hace una combinación del registro estático y el seguimiento de ruta para tratar de representar la mayor cantidad de caminos dibujados en un local, aunque se contempla que la atención del investigador no permita registrarlos en su totalidad (Figura 2.17). Además de los anteriores, el manual recomienda apoyarse de encuestas de origen y destino, fotografías en lapsos regulares, encuestas de interacción entre individuos. Además de ello, el manual brinda recomendaciones sobre la ética a considerar durante la elaboración de los registros.

El proyecto doctoral de Fouad (2021) es un excelente ejemplo de aplicación de las técnicas de observación de *Space Syntax*. A partir de su experiencia, acusa el riesgo de reacción de los sujetos que alteran su conducta al saberse observados (Babbie y Goldstein, en Fouad, 2021, p. 56). Para eliminar este efecto, continuó su registro en instituciones educativas por más de cuatro días, hasta que la presencia del investigador fuese normalizada. El periodo de normalización probablemente varíe según el escenario estudiado, pero debería inducir a desconfiar de estudios que no lo tomen en consideración.

2.3.2 Simulación por medio de agentes

Desde hace más de una década se han desarrollado también diversos simuladores para tratar de reproducir algunos fenómenos observados en la locomoción de las personas (Duives et al., 2013). Los simuladores no sustituyen a la observación directa como medio de registro, sino que constituyen una interpretación de los modelos que les preceden. No obstante, tienen la ventaja de que definen con mayor detalle la cantidad y cualidad del movimiento esperado para cada porción del área de análisis, en lugar de manejar métricas generales para cada habitación. Por ejemplo, el programa *Jlich Pedestrian Simulator* permite exportar estadísticas sobre el flujo y velocidad del movimiento para cada agente (persona simulada) o para un área de análisis seleccionada (Kemloh et al., 2015, p. 7).

Tabla 2.3 Variables de movimiento descritas por los simuladores		
Variables aleatorias	Definición conceptual	Definición operativa
Flujo ($J_{\Delta t}$)	Número de personas que transitan por un punto específico en un periodo de tiempo.	$J_{\Delta t} = \frac{N_{\Delta t}}{t_{N_{\Delta t}} - t_{1_{\Delta t}}}$
Velocidad promedio ($v_{\Delta t}$)	Velocidad promedio a la que transita un usuario por un punto determinado en el espacio.	$v_{\Delta t} = \frac{1}{N_{\Delta t}} \sum_{i=1}^{N_{\Delta t}} v_i(t)$

Fuente: Kemloh et al., 2015

2.3.3 Registro asistido por medios electrónicos

En 2006, O'Neill y otros realizaban pruebas para introducir nuevas metodologías de registro auxiliadas por medio de Bluetooth. Sus conclusiones resaltan las limitaciones que pueden tener los medios electrónicos de categorizar por sí solos los tipos de actividad observados. Por esta razón, se recomienda combinarlos con técnicas de observación de Space Syntax que ayuden a complementar información de orden cualitativo. Además, en la fecha de publicación, esta tecnología se mostraba todavía susceptible a interferencias que podían afectar la cuenta real de personas ocupando el espacio.

Hoy en día, es posible documentar de manera precisa los movimientos de personas en espacios concurridos, sin necesidad de identificarlos o hacerlos partícipes de la investigación. Una de las alternativas para hacerlo es mediante la tecnología *LIDAR (Light Detection and Ranging)*, un sensor a base de barrido láser que ya se encuentra incorporado en muchos dispositivos electrónicos. En 2017, un grupo de investigadores utilizó este sistema para registrar recorridos individuales en una galería del Museo de Arte de Ohara, aunque reconocieron que aún presentaba limitaciones para identificar niños o personas en silla de ruedas (Rashed et al., 2017, p. 2466).

Los ejemplos referidos muestran que la investigación de sistemas de monitoreo más precisos continúa, por lo que es posible que las brechas tecnológicas que quedan se resuelvan en el futuro cercano y que el registro de la actividad humana por medios automatizados se vuelva la práctica más común.

2.4 Interpretación de los modelos de análisis espacial

Como se puede ver, existe un alto grado de abstracción tanto en la construcción de los modelos como en las técnicas que se utilizan para registrar la actividad de las personas que los utilizan. De esta manera se explica que no sea posible definir variables puntuales capaces de determinar por sí mismas el desarrollo de las rutas al interior de un inmueble. Estas limitaciones solo se acrecientan al tratar de evaluar los patrones en un espacio tan reducido como una habitación, donde no existen diferencias territoriales o pasillos predeterminados; donde además los métodos de documentación apenas logran definir la posición de las personas con suficiente detalle como para hacer comparaciones con los modelos de mayor resolución.

De manera general, la teoría de Space Syntax ha logrado explicar parcialmente la frecuencia de encuentros entre los visitantes de espacios públicos a partir de los modelos topológicos. Sin embargo, parecería que estas regularidades responden directamente a una lógica probabilística, donde predomina la presencia en espacios que representan caminos necesarios para llegar a más sitios, siempre que no existan rutas prediseñadas de manera particular. Más aún, Choi aclara que el concepto de encuentro que maneja la teoría de Space Syntax se refiere simplemente a la presencia simultánea y no necesariamente a la interacción efectiva entre los individuos (Choi, 1997, p.1). Aunque ello no implica que estos encuentros sean insignificantes para la construcción del espacio social. Al evaluar el desempeño de diferentes arreglos de oficinas, se encontró que aunque las variables sintácticas del espacio no lograban realmente explicar el movimiento de personas ni eventos particulares de interacción, sí parecían alentar el establecimiento de redes sociales (Sailer y McCulloh, en Koch, 2012, p. 5). Finalmente, la copresencia en el espacio ofrece la oportunidad de familiarizarnos con otros con quienes compartimos el territorio.

Koch (2012) aclara también que los modelos no representan funciones de movimiento, pero que la relación entre espacio y movimiento podría deberse al hecho de que navegamos a través de espacios que se conectan y que en ese sentido los modelos espaciales están contruidos en unidades que son intrínsecamente relevantes al movimiento.¹ Esto nos dirige nuevamente a una interpretación probabilística de los modelos: los espacios conectados e integrados son más frecuentados porque participan de la mayor cantidad de rutas posibles. Es menos probable que nuestras decisiones de movimiento respondan a consideraciones de eficiencia, puesto que nos demandarían tener una comprensión tan amplia sobre la estructura del espacio como la que tiene el investigador que lo ha estudiado a partir de un croquis. En todo caso, no podemos asumir que la definición de las rutas responda solamente a distribuciones matemáticas, puesto que las rutas que tomamos están condicionadas también por programas de actividades y funciones que asignamos a cada partición del espacio, además de los permisos de acceso que corresponden a cada uno de acuerdo al rol que hemos adoptado como visitante, administrador o propietario al hacer uso de un lugar.

Por otra parte, Koch (2012) explica que los métodos de análisis están limitados por la interpretación que se hace de los modelos. Por ejemplo, ya que la isovista parte de un grafo no dirigido, ésta puede interpretarse de dos maneras: todo aquello que puede ser visto desde una posición, o bien, todas las posiciones desde las cuales un punto puede ser visto.

En el primer caso, las isovistas representarían la experiencia sensorial a la que se tendría acceso desde cada posición. Esta interpretación implicaría como tal una representación del posible espacio mental construido. Sin embargo, es poco precisa al hacerlo, tanto por el hecho de asumir una visión periférica de 360° en el plano horizontal, como por ignorar la incidencia de los estímulos fuera del plano de análisis. De ahí que algunos investigadores

¹ Al respecto, invita a ahondar en la postura de Zimring y Dalton.

sigan desarrollando métodos basados en isovistas parciales o bien isovistas 3D que pudieran solventar estas deficiencias.

En el segundo caso, las isovistas se asociarían a la disponibilidad a cada pieza de información sobre la constitución física del medio. Algunos autores proponen que tal estructura incide en la gestión de nuestras rutas de desplazamiento. Esta interpretación trata de explicar procesos cognitivos que inciden en la construcción de un espacio mental *a priori* a partir de la estructura del espacio físico. Sin embargo, esta aproximación implicaría hacer ciertas inferencias previas sobre la motivación de nuestros recorridos y la necesidad de ejecutar tales fines con la mayor eficiencia.

En cuanto a las distinciones entre un modelo y otro, Koch (2012) piensa que el espacio convexo responde a una definición geométrica, mientras que el espacio axial tiene una definición social, y el análisis de isovistas tiene una definición cognitiva. Sin embargo, se ha demostrado hasta que punto puede ser arbitraria la definición geométrica que describe los mapas convexos. Cuando en su lugar se utiliza el concepto de mapa *alpha* como unidad territorial de acceso controlado, el modelo adquiere sentido como modelo de organización de las relaciones sociales. Incluso, sería posible identificar a los roles de usuarios y describir la construcción del entorno que es específica a sus posibilidades de acceso. También la relación de copresencia implícita en la definición del mapa convexo implica la coincidencia entre la territorialidad de diferentes individuos. En ese sentido, me parece que el análisis de mapas *alpha* y convexos corresponden a una definición social del espacio. En lo que corresponde a los mapas axiales, me parece que responden a una lógica más comunicativa que social, al describir circuitos mínimos para conectar regiones diferenciadas del edificio. Finalmente, coincido en que el análisis de isovistas responde a una definición cognitiva pues, como se ha comentado anteriormente, puede referir a construcciones mentales que se hacen del espacio *a priori* o *a posteriori* a partir de datos concretos que se poseen sobre el medio.

Por todo lo dicho hasta ahora, no puede esperarse que las métricas que aporta el análisis espacial sean por sí mismas deterministas o capaces de predecir comportamientos en un sentido generalizado. No obstante, representan herramientas interesantes para describir atributos del espacio que pueden afectar de manera significativa las oportunidades de uso y experiencia que emergen a partir del diseño. Al comprender la definición de los modelos, es posible hacer una lectura detallada sobre las rutas posibles, las rutas probables e incluso las rutas más eficientes para cumplir con un propósito determinado.

Desde el punto de vista histórico, el análisis espacial ha servido también como herramienta comparativa para explicar la evolución del espacio arquitectónico en todas sus dimensiones. Por ejemplo, Michael J. Ostwald y Michael J. Dawes (2018) adoptaron técnicas variadas de análisis espacial para estudiar las villas modernas de Mies van der Rohe, Richard Neutra, Glenn Murcutt y Frank Lloyd Wright. Su trabajo destaca una evolución gradual de la distribución espacial de los proyectos habitacionales de Mies entre 1927 y 1951 que sirve para resaltar el alto grado de innovación que representaba la casa Farnsworth (Ostwald y Dawes, 2018, p.393).

Recapitulando, desde hace medio siglo se han desarrollado diversos métodos que aprovechan la teoría de grafos para describir el entorno con mayor detalle que el que permite la geometría euclidiana. Las metodologías de análisis espacial han permitido comparar de manera sistemática hábitats con forma y escala diferente, lo cual ha promovido la investigación cuantitativa dentro de los institutos de arquitectura. Por su parte el registro de movimiento ha mostrado un gran avance durante los últimos diez años tanto en el desarrollo de herramientas de observación y notación en escenarios reales, como de su simulación por medio de agentes. Aunque la mayoría de los métodos desarrollados son todavía experimentales y carecen

de una apropiada validación, podemos esperar que en la década por venir subsanen estas deficiencias, lo cual aportará una gran cantidad de datos útiles en el futuro próximo.

Es importante notar que, en el pasado, han sido los arquitectos quienes se han involucrado de manera directa en la elaboración de propuestas teóricas para descomponer el espacio en porciones susceptibles de análisis. Por el contrario, el desarrollo de herramientas para monitorear el movimiento se encuentra en manos de investigadores de otras áreas, como lo es la ciencia computacional. Como arquitectos, no hay mucho que podamos aportar en este sentido. Sin embargo, para alentar la cooperación interdisciplinaria, vale la pena estar pendientes del estado del arte en estas investigaciones, para poder entender las oportunidades y limitaciones que ofrece cada software y ser prudentes al interpretar los resultados que nos ofrece. Al respecto, Stavroulaki y Peponis (2003) argumentan que aún hace falta expandir los alcances del análisis espacial para describir mejor los modos de ver más allá de la definición de los campos de visibilidad:

Hemos demostrado que para poder captar la estructura más sutil del movimiento, necesitamos complementar los recursos usuales de representación y análisis espacial asociados con “*space syntax*”, con modos de análisis que se originan en otros discursos, y encontrar modos creativos de relacionarlos tanto conceptual como metodológicamente.² (p. 66.13)

De tal manera, elegimos orientar el proyecto hacia una reflexión sobre los marcos interpretativos de los modelos existentes con tal que se les pueda aprovechar como herramientas de diseño. A partir de estas bases, poder proponer un modelo que describa apropiadamente las estructuras espaciales que ocurren en una habitación.

² Traducción propia del texto original: We have shown that to capture the subtler structure of movement, we have to complement the more frequently used modes of spatial representation and analysis that are associated with “space syntax” by modes of analysis that originate in other discourses, and to seek creative ways of linking them, conceptually and methodologically”

CAPÍTULO

3

**Ofertas de movimiento en
el espacio arquitectónico**

En el capítulo anterior se describió el alto grado de abstracción que existe tanto en los modelos espaciales, como en la recolección de datos de movimiento que se realiza por métodos tradicionales. Para profundizar en el tema, se considera que es necesario ampliar el marco teórico mediante la explicación de las restricciones que el espacio físico puede imponer sobre el espacio percibido y el espacio social. Nuestra propuesta es aplicar el concepto de ofertas ambientales, que dio pauta para desarrollar el análisis de isovistas, para la interpretación del resto los modelos de configuración espacial.

3.1 Introducción al concepto de ofertas ambientales

En 1979, el psicólogo ambiental J.J. Gibson, acuñó el término *affordances*, concepto que en español ha sido traducido como “prestaciones” u “ofertas ambientales”. Lo definió de la siguiente manera: “las *prestaciones* son aquello que [el ambiente] ofrece al animal, aquello con que lo suministra o equipa, para bien o para mal” (Gibson, 1979, p.127).¹ Chemero defiende el carácter relacional de las ofertas ambientales: no se trata en sí de un atributo del medio ni tampoco de la capacidad del animal, sino de una relación de

¹ Traducción propia a partir del texto original: “the affordances of the environment are what it offers the animal, what it provides or furnishes, either for good or ill”

correspondencia entre ambas (Chemero, 2003, p.186). De tal manera, las ofertas ambientales pueden explicarse como una suerte de oportunidades de acción que el medio pone a disposición de un sujeto que está propiamente facultado para aprovecharlas y opta por hacer o no uso de ellas.

La primera consideración que debe tenerse sobre las ofertas ambientales es su carácter de prestación, es decir, que sus atributos son permisivos para ejecutar determinada acción. Puede decirse que la prestación de una mesa es que ofrece una superficie horizontal plana sobre la que podemos depositar objetos que requieren estabilidad. Esta prestación existe no solo en las mesas, sino también en otros muebles como repisas y libreros, e incluso en el propio piso. Como esta, existen muchas clases de prestaciones y, su contraparte, limitaciones en el ambiente, que para Gibson caen dentro de la misma categoría.

Donald Norman considera que las ofertas del ambiente además cumplen una función comunicativa que puede inducir a la acción. En paralelo, desde la semiótica, Losada propone que la dimensión indicial del signo sirve para explicar las inferencias que un individuo puede hacer sobre las posibilidades de uso del espacio en una circunstancia específica (Losada, 2001). Losada sugiere que un porcentaje de los desplazamientos y emplazamientos realizados por las personas son resultado de una interpretación consciente o subconsciente del espacio disponible. Justamente, esto requeriría la capacidad del ambiente de exponer sus ofertas para funciones específicas.

Morris enumera y explica estas dimensiones de los signos a través de los objetos: la primera es la descripción designativa que permite entender los objetos a partir de la información captada por los órganos sensoriales; la segunda es la dimensión apreciativa del objeto; y la tercera es la dimensión prescriptiva, la cual deriva de la conducta activa, es decir, lo que se intuye hacer con un determinado objeto. Esta fundamentación posibilita el planteamiento de un proceso de significación del objeto a través de la semiótica doméstica,

permitiendo distinguir grados de repercusión en la vida de los habitantes, entendiendo que el o los objetos responden no solo a cualidades funcionales y pragmáticas(...) (Robles, 2016, p. 70).

Siguiendo las ideas de Norman, Losada y Morris, las ofertas ambientales del espacio no solamente permiten el desarrollo de acciones, sino que son capaces de inducir las en la medida en que estas son adecuadas a los móviles y pautas de conducta del observador.

Existe una diferencia entre la aproximación que hacemos a los conceptos de ambiente y entorno. Por un lado, entendemos al ambiente como la estructura consolidada del medio que nos rodea. Por otro lado, entendemos al entorno como la porción más próxima del ambiente, de la cual provienen los estímulos que somos capaces de percibir.

Gibson planteaba que el ambiente no estaba compuesto por una colección de objetos independientes que percibamos de manera aislada, sino por su conjunto. Entendía por ambiente visual, por ejemplo, a la suma de todas las superficies que, por la manera en que están dispuestas, confieren a la luz de una estructura particular. Sin embargo, la luz que vemos puede provenir de fuentes lejanas y haber rebotado en muchas superficies antes de llegar a nosotros. Siempre que seamos sensibles a su presencia todas esas superficies formarían parte de nuestro ambiente, sin importar que no podamos verlas. La nubosidad de la atmósfera altera la luz que incide en una habitación y como tal forma parte de la composición ambiental.

Por otra parte, el concepto de entorno refiere a la porción del ambiente que somos capaces de percibir de manera directa. En una habitación interior, ni el sol ni la nube forman parte de nuestro entorno. Puesto que solo somos capaces de ver el rayo de luz que ha reflejado en los muros y objetos más próximos a nosotros para después incidir en nuestros órganos sensoriales. Puesto que se tratan de medios que envuelven a un sujeto, tanto el ambiente como el entorno varían dependiendo de su posición.

Nuestro entorno contiene toda la información que conocemos sobre el mundo que nos es inmediato. Por eso, Gibson creía que tales estímulos estaban estrechamente relacionados con nuestra capacidad de ejecutar acciones particulares. Para aprovechar las ofertas del ambiente dependemos de la información que somos capaces de captar mediante nuestros sentidos, es decir, la estructura del entorno.

Como estamos acostumbrados a ver, nos cuesta más trabajo caminar en completa oscuridad. Pero sin el sentido de la vista, podríamos valernos de nuestro tacto para guiarnos, aunque ello limitaría nuestro entorno a aquello que existe al alcance de nuestras manos. Si dependiéramos del sentido del oído, nuestro entorno estaría determinado por el ambiente acústico que podemos escuchar con claridad suficiente para hacernos una idea del mundo. De manera particular y dada la naturaleza física de la luz, el entorno visual es de una geometría proyectiva; sin embargo, esta condición no debe asumirse como cierta para estímulos provenientes de otras fuentes de energía.

3.2 Composición de los entornos habitables

Explicábamos antes que el entorno visual corresponde al conjunto de superficies percibidas y no a su interpretación como elementos independientes. En este caso, debemos reconocer que solo un porcentaje de las ofertas que componen nuestro ambiente y nuestro entorno corresponde a elementos arquitectónicos. Otro porcentaje corresponderá al equipamiento de las habitaciones, ya sea con mobiliario u otro tipo de instalaciones sobrepuestas a la arquitectura que mantienen una posición regular. Finalmente, se integrarán al ambiente artículos e incluso personas que con su presencia participan a la conformación del entorno en una manera eventual, ampliando o restringiendo las posibilidades de acción del individuo que lo habita. Cada clase de elementos ambientales tiene la posibilidad de

conformarse como oferta ambiental, siempre que sus atributos encuentren paralelo en las intenciones del individuo capaz de percibir las consciente o inconscientemente.

3.2.1 Elementos arquitectónicos

Llamaremos ofertas ambientales arquitectónicas, u ofertas arquitectónicas, a todas las cualidades facultativas del entorno que resultan de la propuesta de diseño arquitectónico, o bien, que emergen como consecuencia de su ejecución en obra; por ejemplo: los muros, techos, antepechos, muebles fijos y sistemas de instalaciones. Cuando nos referimos a estos elementos como ofertas, implicamos necesariamente que abren o cierran posibilidades fácticas. Un muro establece un límite que permite realizar actividades incompatibles de manera simultánea; además, si es lo bastante resistente, nos permite acomodar objetos sobre un plano vertical. Esas son dos diferentes ofertas ambientales que podemos asociar con un muro. Una puerta constituye una oferta de acceso y visibilidad, en tanto que integra de manera visual y locomotiva dos espacios contiguos, permitiendo la acción de 'ver afuera', 'ir afuera', 'ver desde afuera', 'llegar desde afuera'.

La función sugerida por un elemento arquitectónico no tiene que haber sido necesariamente asignada por quien diseñe el espacio: una superficie horizontal que asemeja a una banca, puede ser una oportunidad para el descanso. Al mismo tiempo, el mismo elemento arquitectónico puede no representar la misma oferta para todos los usuarios, es propio de las ofertas ambientales ser específicas para la dupla entre el contexto y el sujeto: la misma banca puede resultar alta e inaccesible para una persona de baja estatura, o demasiado baja e incómoda para ser aprovechada por alguien con algún tipo de discapacidad. A pesar de las muchas diferencias que pueden existir entre un usuario de la arquitectura y otro, no corresponderá a esta investigación profundizar en ellas.

Raramente nuestro medio está compuesto solamente por elementos arquitectónicos, pero tampoco es imposible que suceda. La Figura 3.1 ilustra un pasillo donde no existen objetos ajenos a los propuestos por quienes diseñan el espacio.



Figura 3.1. Entorno conformado únicamente por elementos ambientales arquitectónicos. Fotografía original sin título de Stephen Bayer [stephenbayer] Recuperada de <<https://pixabay.com/es/photos/vest%C3%ADbulo-vac%C3%ADo-oficina-tranquilo-95771/>>

3.2.2 Elementos mobiliarios

La segunda clase de ofertas se habilitan por medio de los elementos mobiliarios y resulta de una de las muchas opciones de acondicionamiento que pueden hacerse del espacio arquitectónico. Estas son determinadas normalmente por el propietario o gerente del lugar. El mobiliario —utilizando el término en el sentido amplio para señalar todo aquello que no es permanente— sirve como herramienta para ampliar o restringir las posibilidades que ofrece un espacio. Una silla ofrece la posibilidad de sentarse en un espacio donde la sola arquitectura no sugería un asiento. Como ocurría con las ofertas arquitectónicas, las ofertas mobiliarias abren posibilidades más allá de las contempladas por su quien realizó el diseño: una silla puede permitir alcanzar un ducto de ventilación y un librero puede obstruir un acceso a una habitación. Sin embargo, se sostiene a lo largo de esta tesis, las capacidades del mobiliario para modificar el entorno y las posibilidades de uso del espacio arquitectónico quedan siempre restringidas por la oferta arquitectónica inicial.

En el ejemplo anterior se comentó que un librero podría aprovecharse para obstruir uno de los accesos a una habitación, pero ello solo será viable si existen recorridos alternativos para entrar y salir de esta o de cualquier otra habitación que resulte necesaria para el funcionamiento del lugar. Así como la arquitectura impone un límite a las oportunidades que ofrece o elimina el mobiliario, suponemos que también restringe a un número finito las combinaciones o distribuciones posibles de objetos en su interior. Esta restricción combinatoria puede aproximarnos a una lógica probabilística en el uso y aprovechamiento de los espacios de acuerdo a sus características formales. La Figura 3.2 ilustra un entorno conformado por elementos arquitectónicos y mobiliarios.



Figura 3.2. Entorno conformado por elementos ambientales arquitectónicos y mobiliarios. Fotografía sin título de Anna Lisa [Lisaphotos195] Recuperada de <<https://pixabay.com/es/photos/habitación-diseño-de-interiores-6778193/>>

3.2.3 Elementos circunstanciales

Además de los elementos arquitectónicos y mobiliarios con que acondicionamos nuestras habitaciones, el ambiente que habitamos se complementa con la presencia de objetos y seres vivos que participan de éste por lo menos de manera momentánea. Igual que los muros y los muebles, estos elementos circunstanciales reflejan y refractan la luz, producen sonidos y emiten olores que somos capaces de percibir. Como son accesibles a nuestros sentidos, entonces forman también parte de nuestro entorno.



Figura 3.3. Entorno conformado por elementos ambientales arquitectónicos, mobiliarios y circunstanciales. Fotografía original sin título de Jill Wellington [JillWellington] Recuperada de <<https://pixabay.com/es/photos/cena-mesa-casa-configuración-1433494/>>

3.2.4 Construcción estratificada del ambiente

Hemos resaltado que tanto el ambiente como nuestro entorno están conformados por elementos ambientales de diferente naturaleza. No obstante, observamos que los objetos ambientales se acoplan unos a otros de manera ordenada. Es decir, que los elementos arquitectónicos imponen las primeras restricciones en el espacio indeterminado, mientras que otros objetos solo pueden incrementarlas. De ahí que pensamos que es posible reconocer atributos del espacio físico arquitectónico que afectan a los patrones de uso.

En el diseño del espacio, el proceso suele ser inverso. Anticipamos la presencia de cierto grupo de habitantes y las herramientas que utilizarán en su vida cotidiana. Después, estimamos el equipamiento mobiliario que será necesario para alojar sus actividades y al final asignamos un espacio suficientemente amplio para que la interacción entre unos y otros se desarrolle de la manera más armoniosa.

La Tabla 3.1 ejemplifica la capacidad de diferentes modelos de análisis espacial para representar los elementos arquitectónicos y mobiliarios que componen el ambiente. En lo que respecta a los elementos circunstanciales, estos son omitidos en la mayoría de los análisis, dado su carácter eventual y efímero. Se mencionó en el Capítulo 2 que existen simuladores por medio de agentes para expresar las rutas que podrían tomar las personas al recorrer el espacio; sin embargo, no se encontró en ninguna de las investigaciones que el espacio ocupado por tales personas se tomaran en cuenta como un elemento que reconfigura la relación entre diferentes unidades espaciales.

Tabla 3.1 Elementos ambientales incorporados al análisis espacial			
Modelo	Unidad de análisis	Arquitectónico	Mobiliario
Modelo <i>gamma</i>	Espacios compartimentados	Habitación como unidad	(Restricciones de acceso)
Modelo convexo	Espacios convexos	Secciones programáticas	-
Modelo axial	Líneas rectas más largas necesarias para atravesar los espacios convexos	Pasillos	-
Modelo de segmentos	Segmentos de las líneas más largas necesarias para atravesar todos los espacios convexos	Pasillos	-
Modelo axial dual	Intersección entre las líneas rectas más largas necesarias para atravesar los espacios convexos	-	-
Isovistas y campos de isovistas	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio a nivel de ojo	Espacio vacío	Superficies reflejantes
Polígonos de proyección de accesibilidad	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio a nivel de piso	Envolvente arquitectónica	Obstáculos mobiliarios
Análisis de Grafos de Visibilidad (VGA sintáctico)	Zonas de covisibilidad	Envolvente arquitectónica	-

Fuente: Elaboración propia

3.3 Ofertas representadas en los modelos de análisis espacial

Haciendo una interpretación de las ideas de Gibson, Benedikt propuso una vía matemática para describir el entorno visual relativo a la posición del observador (Benedikt, 1979, p.50). De estas ideas se desprende el concepto de isovista que eventualmente evolucionaría en el análisis VGA. La intención original de Benedikt era establecer un punto de partida a través del cual pudieran compararse espacios arquitectónicos de formas variadas, sin estar constreñidos por las limitadas definiciones de la geometría euclidiana y sin tener que recurrir a descripciones de tipo cualitativo. Este propósito se cumplió con éxito y, como vimos anteriormente, ha sido posible calificar el espacio a partir de una gran cantidad de variables que describen estos polígonos de proyección.

De manera semejante, el concepto de ofertas ambientales es sugerido en el planteamiento original de la teoría de Space Syntax. La teoría plantea que ciertas estructuras espaciales reproducen las estructuras sociales que les dan lugar, al permitir la segregación de algunas actividades y la integración de otras. Puesto que los modelos de análisis espacial tratan de reconocer un orden entre la constitución del espacio físico y el espacio social, es lógico pensar que están contruidos para reconocer determinadas ofertas ambientales. La Tabla 3.2 ofrece una explicación sobre las ofertas ambientales descritas a partir de las estructuras elementales de cada uno de los modelos de análisis.

Tabla 3.2			
Propuesta de las ofertas ambientales descritas por las estructuras elementales de los principales modelos de análisis espacial			
Modelo	Unidad de análisis	Oferta implicada en la definición de la unidad de análisis	Oferta implícita en la relación entre elementos
Modelo <i>gamma</i>	Espacios compartimentados	Separación del espacio en territorios independientes	Permiso de acceso entre territorios
Modelo convexo	Espacios convexos de mayor tamaño	Máximas áreas susceptibles de integrarse en un entorno homogéneo	Permeabilidad hacia áreas fuera del hipotético entorno homogéneo
Modelo axial	Líneas rectas más largas necesarias para atravesar los espacios convexos	Posibilidad de circulación en una dirección determinada	Continuación del recorrido mediante un cambio de dirección
Modelo de segmentos	Segmentos de las líneas más largas necesarias para atravesar todos los espacios convexos	Posibilidad de circulación en un tramo determinado	Continuación del recorrido
Modelo axial dual	Extremo o Intersección entre las líneas rectas más largas necesarias para atravesar los espacios convexos	Toma de decisión en la construcción de una ruta.	Camino disponible hacia otro nodo de decisión
Polígonos de visibilidad	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio	Posición visible	Co-visibilidad entre dos posiciones
Polígonos de accesibilidad	Puntos repartidos de manera homogénea en el espacio	Posición accesible	Posibilidad de transitar en línea recta
Análisis de Grafos de Visibilidad	Zonas de covisibilidad	Entornos visuales diferenciados	Posibilidad de desplazarse a un entorno distinto

Fuente: Elaboración propia.

Este ejercicio muestra ya con claridad algunas diferencias sustanciales entre el modelo *gamma* y el modelo de análisis convexo, que se han incorporado en una misma metodología de análisis. Al definir la separación entre territorios independientes, el modelo *gamma* puede describir ofertas reales del espacio; por ejemplo, el acceso a la privacidad o la discriminación entre permisos de actividad. Además, aunque el espacio tipo *gamma* pueda dar cabida a diferentes estímulos visuales, puede estar acotando otras condiciones ambientales, como la sonoridad y la temperatura.

En cambio, las ofertas que describe el espacio convexo son más bien hipotéticas. Es cierto que dos personas situadas en una misma unidad espacial tendrán conocimiento cada una sobre la presencia de la otra. Sin embargo, esa circunstancia no estará acotada al polígono propuesto a menos que éste se delinearara mediante una partición física. La Figura 3.4 muestra nueve diferentes construcciones de mapas convexos a partir de un área de análisis ocupada por tres sujetos. Dependiendo de la representación elegida, podría interpretarse que los sujetos B y C comparten el mismo espacio. Así mismo, la distancia entre A y C podría describirse como de uno o tres pasos de diferencia. De tal manera, aunque el espacio convexo sirva como herramienta para segmentar el espacio en porciones discretas, parece excesivo inferir que la presencia en una u otra de estas porciones sea determinante sobre la experiencia del usuario.

En general, las metodologías de análisis espacial trabajan con la premisa de que todos los espacios del sistema son accesibles a todos y en todo momento. Sin embargo, la distribución de los recorridos que existiría bajo una política de puertas abiertas y acceso universal, puede variar significativamente en cualquier espacio social donde existen roles diferenciados. En tal caso, un estudio que trata de entender la distribución de las personas en función de las redes de permeabilidad, tendría que representar un mapa particular para cada tipo de usuario con credenciales o capacidades de acceso diferentes.

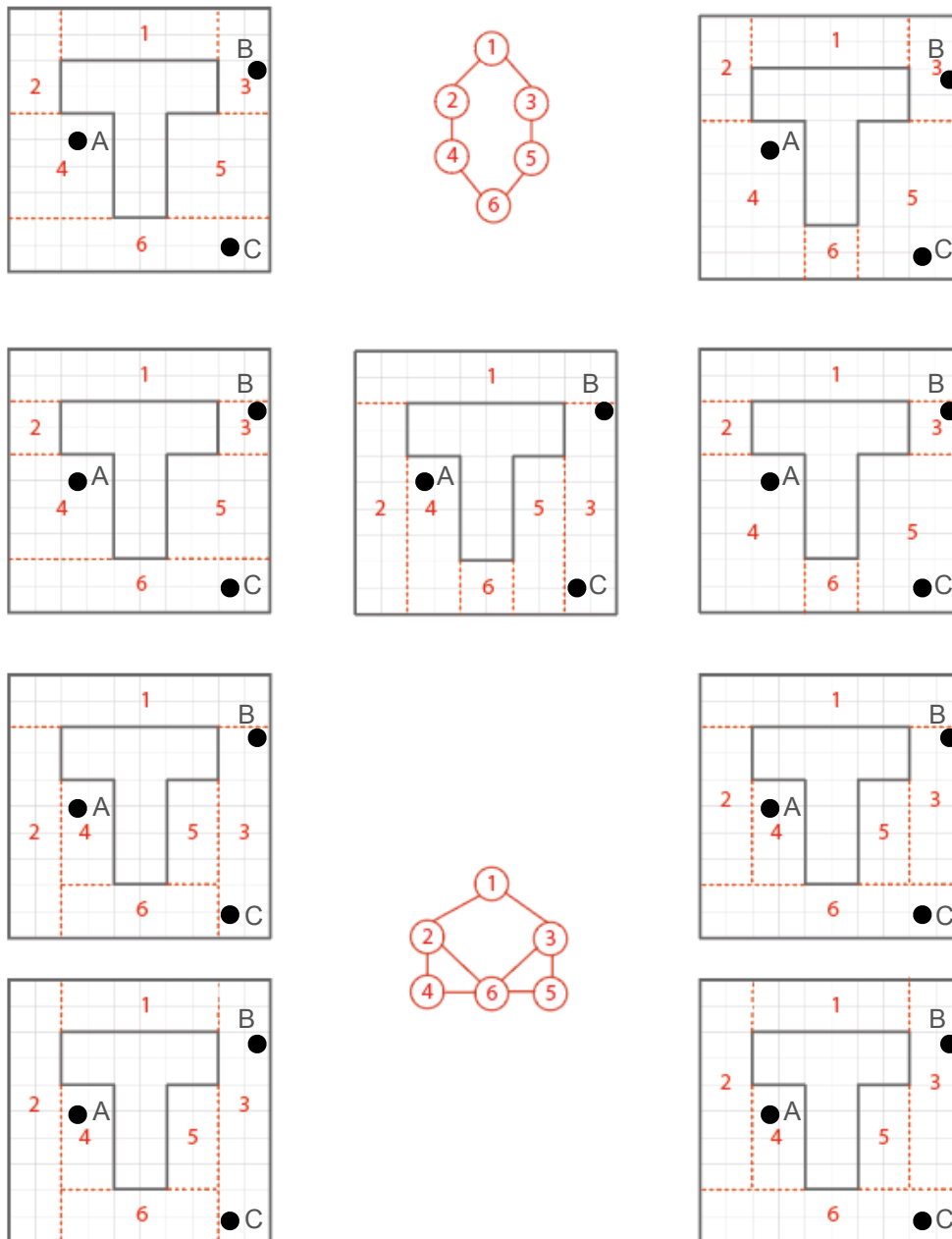


Figura 3.4. Diferentes representaciones de un área de análisis mediante mapas convexos. Las relaciones de permeabilidad y co-presencia entre dos sujetos que ocupan el espacio varía en función del mapa trazado. Elaboración propia

3.4 Propuesta de tipificación de las ofertas de movimiento

Ahora bien, el objetivo principal de este proyecto es encontrar herramientas que permitan establecer si existen relaciones de correspondencia entre los atributos del espacio y las dinámicas de circulación que emergen en su interior. Por ello, nos interesa evaluar los modelos existentes con respecto a su capacidad de describir atributos del espacio que permitan o motiven acciones de movimiento. A continuación, proponemos algunas de las prestaciones que tiene que ofrecer el ambiente para permitir la circulación a través del espacio.

3.4.1 Ofertas de acceso

Para ser transitado, el espacio necesita ser accesible. Entendemos accesibilidad como la posibilidad que tiene un individuo de llegar a una determinada porción del espacio. Desde ciertas perspectivas, podría argumentarse que algunos espacios son más accesibles que otros. Sin embargo, nosotros adoptaremos el concepto más cercano a la teoría de grafos y diremos que la condición de accesibilidad es binaria. Es decir, una porción discreta del espacio es accesible para un sujeto o no lo es. Luego, la conveniencia o dificultad de llegar al lugar se verá reflejada en otras variables.

La primera condición para que una porción de espacio sea accesible es que en la composición de los elementos arquitectónicos exista por lo menos un camino que lo conecte al resto del sistema de espacio accesible mediante relaciones de permeabilidad. A esto añadiríamos una segunda condición, y es que no existan elementos mobiliarios o circunstanciales que obstruyan todos los caminos posibles para llegar a tal posición.

3.4.2 Ofertas de ocupación y alojamiento

Además de ser accesible, el espacio de circulación debe ser susceptible de ser ocupado de manera intermitente. La acción de ocupar corresponde al acto de tomar posesión o apoderarse de un territorio, lugar, o edificio, invadiéndolo o instalándose en él. Por ello, consideramos conveniente referir como ofertas de ocupación a aquellos atributos del medio que permiten a un individuo situarse en una región.

Entre las ofertas de ocupación distinguimos una clase particular que es el alojamiento. Una de las principales funciones de la arquitectura es proporcionar espacios donde se puedan desarrollar las actividades humanas. Mencionamos que la ocupación que se da mediante el tránsito es corta e intermitente; pero para alojar actividades, el espacio necesita ser accesible y susceptible de permanecer ocupado durante periodos continuos. Además, es necesario que exista libertad locomotora igual o mayor a la demandada por la actividad que debe realizarse. En este sentido, los espacios demasiado estrechos tienden a impedir el alojamiento de actividades.

Cuando realizamos observaciones a escala de un edificio, puede ser que una habitación cumpla funciones de alojamiento sin que con ello obstruya las ofertas de tránsito. Sin embargo, en la escala mínima de ocupación, la misma unidad espacial no podría cumplir ambas funciones de manera simultánea, pues entran en conflicto una con otra. En un espacio tan acotado como el vano de una puerta, por ejemplo, podríamos detenernos a tener una conversación y utilizar lo que normalmente es un área de tránsito como espacio de alojamiento. No obstante, en el momento que alguien quiera entrar en la habitación, será necesario decidir si nos movemos de sitio o permanecemos, obstruyendo su camino. Esto significa que las ofertas ambientales de ocupación para tránsito se ven afectadas también por la disposición de los objetos mobiliarios, así como por la presencia de otras personas.

De manera intuitiva, y también en atención a los protocolos de seguridad de los edificios, se procura que los espacios destinados a la circulación de emergencia se mantengan siempre despejados de obstáculos. Por eso, los pasillos y puertas, aún si corresponden a circuitos secundarios de comunicación, inhiben el alojamiento de programa de actividades particulares.

En suma, consideramos que lo que resulta ventajoso para desplazarse dentro de un edificio, puede de hecho impedir que las personas adopten una posición semi-permanente donde poder realizar actividades específicas. Tiene sentido por tanto, que en un estudio sobre salas de exhibición se haya concluido que las áreas segregadas ofrecían una oportunidad adicional a los visitantes de involucrarse con las obras (Kaynar et al. 2009, 094:8).

3.4.3 Ofertas de orientación y navegación

Una parte importante de las acciones de tránsito están motivadas por la necesidad de alcanzar un destino en específico. En este escenario, la anticipación de las ofertas de ocupación y alojamiento afectan nuevamente a nuestras acciones, en tanto que representan destinos posibles para la ruta. Una vez definido el destino, denominamos como ofertas de orientación a las que nos habilitan para planear una ruta, y como ofertas de navegación a las que nos permiten completar con éxito el recorrido.

De acuerdo con García-Moreno, el proceso de orientación y navegación está acotado por procedimientos perceptivos, cognitivos y de interacción. Los procedimientos perceptivos tienen que ver con recibir información sobre el medio. Particularmente, puede relacionarse con la presencia de las cuatro variables ambientales de Weisman: el acceso visual, el grado de diferenciación, la complejidad del diseño y la señalización. Los procedimientos cognitivos refieren a la capacidad de estructurar la información almacenada en nuestra memoria para deducir rutas conformadas por un origen, un destino y un camino. Para ello, construimos en nuestra

mente recursos referenciales por dos vías posibles; a través de modelos topológicos:

(...) basado[s] en una ordenación posicional, de relación y de distancias relativas” o bien a través de modelos secuenciales organiza[dos] sobre la base de rutas o itinerarios a los que se anclan las referencias y sobre los que se disponen los puntos de cambio de dirección. (García-Moreno, 2011, p. 37)

Parece ser que en este proceso cognitivo nuestra interpretación del espacio es esquemática y tiende a simplificar e incluso distorsionar la información más detallada que percibimos sobre el medio (Tversky, en Koch, 2012, p. 9). En este sentido, Koch opina que, en espacios urbanos, el nivel de detalle que describe un campo de visibilidad puede llegar a resultar menos relevante que la información esquemática que ilustra un mapa axial o un mapa convexo; mientras que en espacios interiores el modelo VGA puede ser el de mejor funcionamiento, siempre y cuando se simplifiquen los parámetros de análisis de dos maneras: ignorando el detalle de obstáculos en el espacio y utilizando una retícula de menor resolución (Koch, 2012, p. 8-9).

Finalmente, los procedimientos de interacción corresponden a la retroalimentación del medio que se procesa en tiempo real como resultado del desplazamiento continuo y de la observación de los diversos escenarios que surgen a lo largo de un recorrido. Esta información permite al sujeto tomar consciencia sobre la posición que ocupa a cada momento y las próximas acciones que debe tomar para llegar a su destino (García-Moreno, 2011, pp. 37-42).

3.4.4 Ofertas de exploración

Supongamos ahora que no tenemos una ruta predeterminada; ya sea porque nuestros procesos de navegación han fallado, porque no tenemos un destino fijo, o porque nuestro objetivo es el de escanear el espacio para conocerlo a detalle.

En este caso, Abajo y Delgado sugieren una relación entre las rutas de exploración y el coeficiente de desplazamiento (la distancia que existe entre el punto de referencia y el centro de gravedad del polígono de visibilidad); su idea se sustenta en la premisa de que tendemos a caminar hacia lugares donde asumimos que podemos recibir mayor información sobre la composición general del espacio (2018, p. 45). Por su parte, Kaynar et al. concluyen que la oclusividad (entre otros valores medidos como el perímetro, la radial máxima y el área) tiene efectos en la dirección de movimiento de los visitantes de museos, sugiriendo que existe cierta tendencia a moverse en direcciones que permiten explorar las áreas ocultas (2009, 094:7).

Sin embargo, es preciso tener en cuenta que el hecho de que un punto del espacio esté dentro del campo de visibilidad no significa que lo que se mira sea verdaderamente comprensible. En la iglesia bizantina de Capnikarea, Stavroulaki y Peponis (2005) documentan como los niveles de iluminación, la distancia y hasta los destellos restringen la capacidad de notar el detalle de las piezas pictóricas mucho más de lo que podrían sugerir los conos de visibilidad.

Recapitulando, hemos tratado de entender el mecanismo mediante el cual el espacio físico logra imponer restricciones sobre el espacio percibido y el espacio social. Para ello, recurrimos al concepto de oferta ambiental, que describe la condición facultativa que emerge de la relación entre los atributos del medio y las intenciones de aprovechamiento por parte de un individuo.

Puesto que estamos interesados en patrones de uso, fijamos primero nuestra atención en los atributos del espacio que lo hacen accesible. Para ello, definimos como ofertas de ocupación a los atributos del espacio que nos dan oportunidad de apropiarnos de una porción de territorio para realizar una actividad. Por otra parte, reconocimos como ofertas de orientación y navegación a las cualidades del espacio que nos permiten establecer rutas para desplazarnos entre un lugar de actividad y el siguiente. Luego, referimos otras ofertas ambientales que pueden ser relevantes para la experiencia del espacio, pero que no demandan accesibilidad e incluso entran en conflicto con ella.

De la reflexión sobre las ofertas de movimiento en el espacio arquitectónico se desprenden un par de corolarios. Primero, que el espacio inaccesible permanece inhabitado. En tanto inaccesible, no es posible para el sujeto situarse en el entorno particular que le corresponde a dicho sitio. Como consecuencia, la imagen que se forma del mismo depende simplemente de las construcciones mentales que es capaz de formar a partir de información recabada desde otras posiciones.

En segundo lugar, que si un espacio accesible permanece inhabitado es prudente suponer que, por alguna razón, no ofrece las prestaciones de alojamiento o tránsito óptimas dentro del sistema para cumplir con tales funciones. El hecho de que un espacio sea accesible no implica que hagamos un esfuerzo por acceder a él. Necesitamos de un motivo para estar ahí. De tal manera, concluimos que para que el espacio sea ocupado, además de ser accesible, requiere atributos adicionales y que tales atributos estarían dictados por las funciones del espacio arquitectónico.

CAPÍTULO

4

**Propuesta de un nuevo
modelo de análisis**

En el Capítulo 2 se presentaron las principales metodologías del análisis espacial. Luego, en el Capítulo 3, se ofreció un nuevo marco teórico que nos permita reconocer las ofertas ambientales descritas en cada modelo; de tal modo que diferentes atributos físicos del espacio puedan ser asociados a conductas humanas de manera más directa. Encontramos que los modelos gamma y convexo describen el espacio de acuerdo a las ofertas para el control de acceso y asociación, respectivamente. Los modelos axiales y de segmento sirven para identificar vías de comunicación eficientes. Finalmente, los polígonos de proyección y los grafos de visibilidad, describen como varían las oportunidades de percepción y cognición del espacio dependiendo de la posición en que se encuentre un sujeto. De este modo, concluimos que las metodologías existentes no son las más adecuadas para describir ofertas de movimiento en el espacio, especialmente en aquellos casos en que no existen particiones intermedias que constituyan oportunidades para el control de acceso.

En este capítulo se plantea un nuevo modelo de representación y análisis del espacio que observe de manera específica las ofertas de movimiento que

emergen en una habitación como resultado de sus atributos físicos. El modelo que se propone es análogo al resto de los modelos que integran la metodología de space syntax, en el sentido de que puede describir al espacio como un sistema ordenado de componentes espaciales que se combinan entre sí para formar estructuras de mayor complejidad.

Para dar forma a la propuesta, se parte de las siguientes preguntas particulares:

- ¿Cuáles son los objetos y relaciones elementales que describe el modelo?
- ¿Cómo pueden representarse de manera gráfica y/o matemática las relaciones elementales que son objeto de análisis?
- ¿Cómo pueden interpretarse de manera lógica las estructuras espaciales que el sistema describe?
- ¿Qué tipo de observaciones pueden hacerse en un entorno de mayor complejidad?
- ¿Qué diferencias o similitudes se observan con respecto a otras metodologías de análisis?

4.1 Prefiguración del modelo

Como preámbulo para desarrollar la propuesta, se definió el tipo de características formales que el modelo debía ser capaz de describir y categorizar. Puesto que la investigación pretende contribuir al marco teórico del diseño arquitectónico, era importante apuntar hacia propiedades del espacio que un diseñador de lo arquitectónico fuese capaz de entender y aprovechar en su proceso creativo. Así pues, se pretende que el modelo sea capaz de ilustrar la delimitación de las ofertas de movimiento producida por diferentes elementos arquitectónicos, como pueden ser accesos, muros y otros elementos de borde (Ver Figura 4.1).

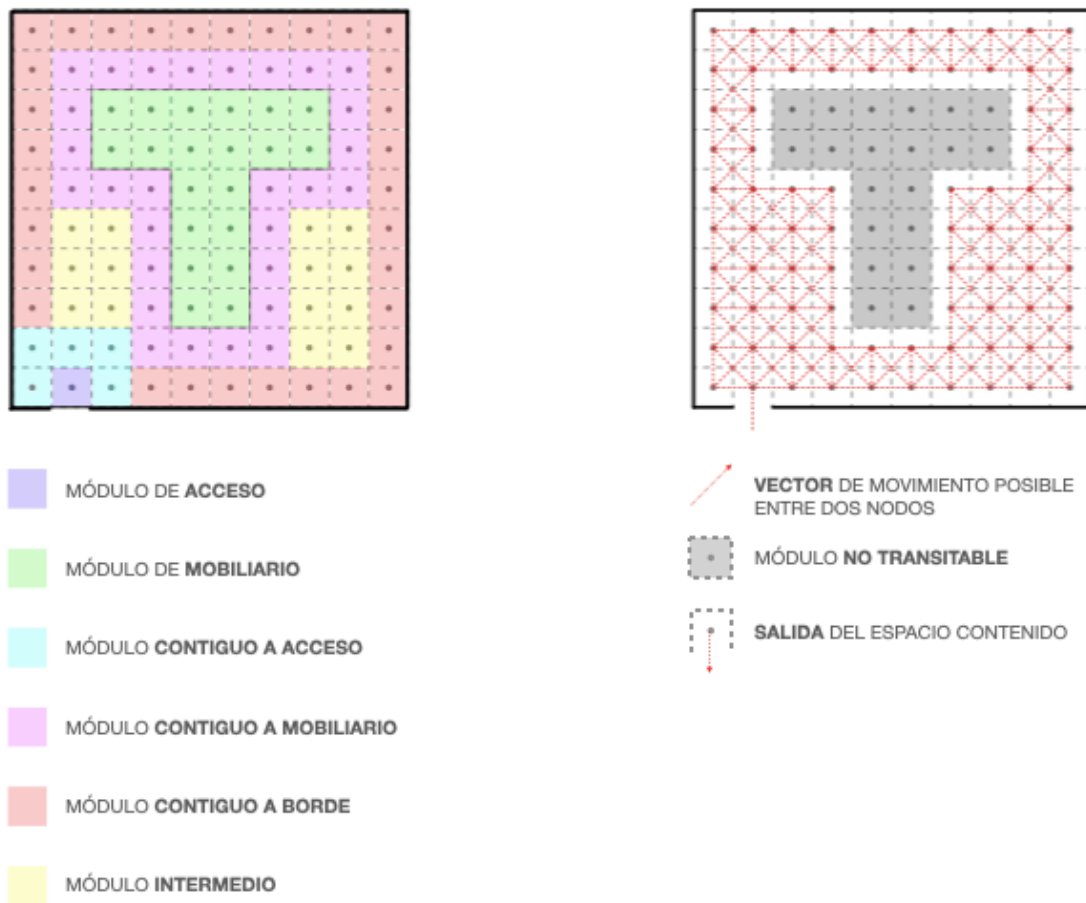


Figura 4.1. A) Prefiguración de las categorías espaciales que el modelo debería poder describir. B) Relaciones mínimas que es posible computar para obtener una definición no discursiva de las categorías. Elaboración propia

4.2 Objetos y relaciones elementales del modelo

Tanto el análisis convexo, como el análisis axial y el análisis de grafos de visibilidad simplificado utilizan como unidad de análisis una representación propia de la máxima área visible. Ya que las habitaciones son normalmente convexas, la mayor parte de su área mantiene una relación interna de co-visibilidad. En consecuencia, dentro de estas tres metodologías de análisis, la habitación corresponde a una unidad indivisible, y por tanto, indescifrable. Para poder estudiar una habitación, el espacio que la compone debe ser diferenciado bajo algún otro criterio. Por eso, el primer objetivo para el desarrollo del modelo es determinar una manera de fraccionar el espacio de la habitación que pueda asociarse a sus ofertas de ocupación y movimiento.

En este sentido, se determina utilizar como módulo la más mínima porción de espacio potencialmente habitable. En su tesis doctoral, Martínez (2015) describió cinco diferentes escalas de espacialidad: envolvente, geometría, espacio escénico, programa arquitectónico y paisaje. Cada una de ellas representa un ámbito de interacción entre el ser humano y el medio que habita. Para ilustrar la escala mínima del espacio, la envolvente, Martínez recurre al concepto de *kinesfera* propuesto por Rudolf von Laban:

Las kinesferas definen el espacio que está en contacto directo con el cuerpo, constituyen el elemento más sencillo que hay que analizar para poder llegar a construir una teoría del espacio basada en el movimiento del cuerpo [...] Laban determinó a través del estudio del movimiento del cuerpo humano un volumen especial en el que se podían englobar todos los movimientos de las personas. Este volumen en un principio sólo tuvo ocho caras, se fue complejizando con doce, luego con veinte, hasta que finalmente evolucionó en la 'kinesfera', aunque el volumen que más utilizó fue el icosaedro. (Martínez, 2015, p.26)

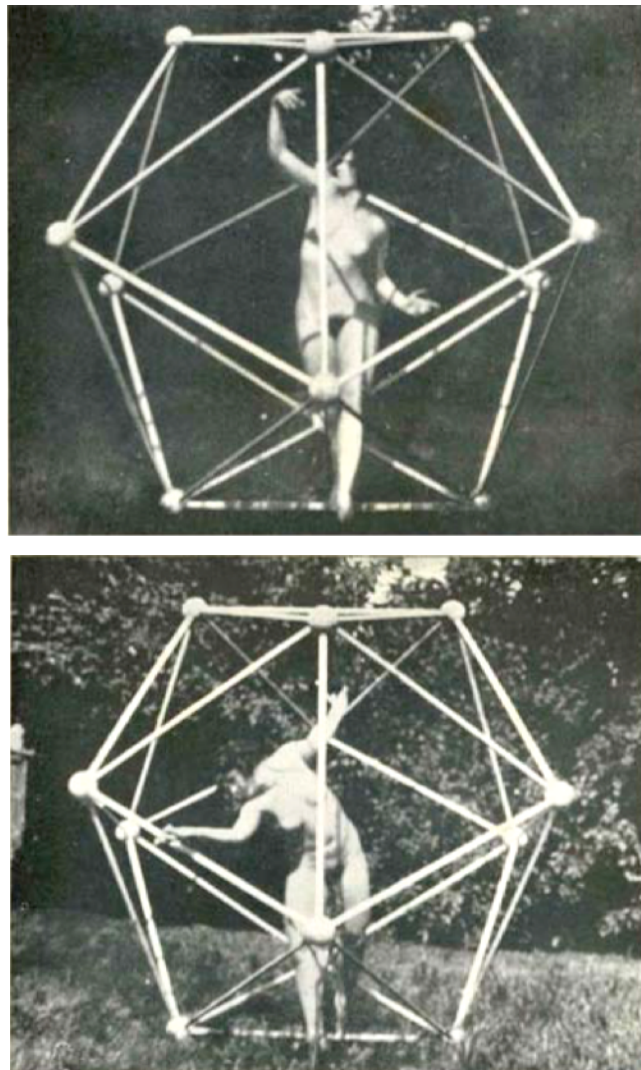
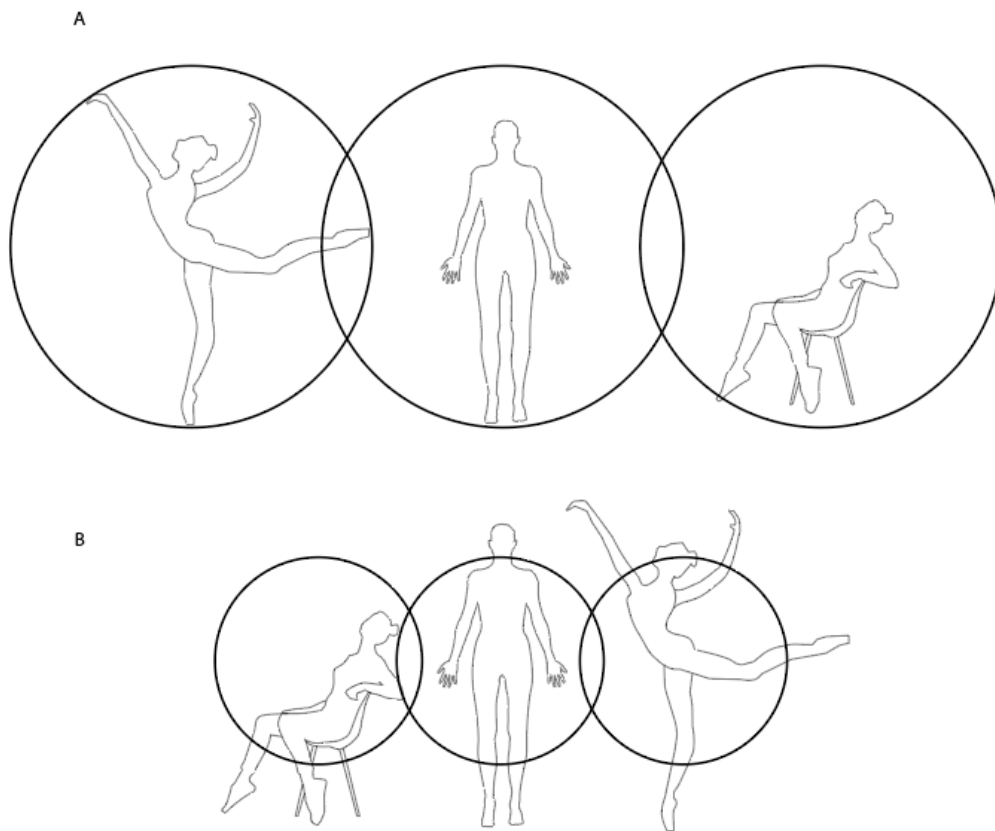


Figura 4.2. Kinesfera propuesta por Laban para describir la espacialidad inherente al cuerpo humano. 1913-1917. Fuente original: Rudolf von Laban (1926) Choreographie.

El espacio envolvente contenido en la kinesfera es equivalente al concepto de espacio peripersonal desde el punto de vista de la proxemia, el cual se define como el espacio al alcance de cualquier extremidad del cuerpo. La kinesfera se puede calcular de manera aproximada a partir de la distancia horizontal que abarca una persona con los dos brazos extendidos. Según el manual de Neufert, tendría un diámetro de 1.75m, lo cual sería válido para una población europea. Si asumimos una relación entre esta medida y la estatura promedio, en el caso mexicano, esta medida oscilaría entre 1.58m y 1.64m. No existe pues una kinesfera tipo, sino que varía según el contexto y el grupo demográfico observado. Ahora bien, hay que tener en mente que Laban exploraba el rango de movimiento total del cuerpo humano. Mientras bailamos o hacemos ejercicio es posible que hagamos uso del total de nuestro espacio peripersonal. Sin embargo, la mayoría de nuestras actividades no requieren de tanta libertad de movimiento (Ver Figura 4.3). En la mayoría de los casos, evitaremos desplazarnos de nuestro centro de equilibrio con movimientos bruscos. Por supuesto, no pretendemos aquí distinguir el espacio que requiere una y otra actividad humana. Por el contrario, el modelo intenta representar el espacio suficiente para albergar la actividad humana en un sentido generalizado.

Para ser más flexible en su uso, el modelo no debe depender de la precisión en cuanto a la dimensión del módulo. De otro modo, necesitaría tomar muchas variables sociales y geográficas que impedirían la comparación entre escenarios diferentes. Se propone, entonces, utilizar una medida estandarizada. En este caso, las particularidades geográficas y circunstanciales no se omiten, sino que se espera que aparezcan representadas en la variación de resultados entre proyectos. El módulo que se propone considerar para este ejercicio es un espacio intersticial de 1m de diámetro. Sin embargo, se mantiene la idea de Laban de plantear al espacio como una esfera, de manera que se represente la libertad de movimiento en todas las direcciones.



*Figura 4.3. A) Representación de la kinesfera propuesta por Laban, que permite el rango completo de movimientos del cuerpo humano. B) Módulo de análisis propuesto con diámetro de un metro, suficiente para alojar actividades cotidianas.
Elaboración propia*

Integración de los módulos en el espacio continuo

Hillier y Hanson desarrollan los conceptos de continuidad espacial y borde (1984, p.53) para diferenciar las unidades básicas que constituyen su objeto de análisis y que permiten integrar, a partir de espacios con permeabilidad continua: habitaciones, conjuntos edilicios y después conjuntos urbanos. La diferencia particular con el trabajo, es que la unidad del espacio permeable continuo (como pudiera ser una habitación) pasa de ser la unidad elemental de análisis, a ser el objeto contenedor de unidades más pequeñas con características particulares. Con respecto a la continuidad, es importante rescatar algunas de las nociones básicas descritas por los autores:

1. Cualquier configuración espacial (arquitectónica) debe mantener un sistema continuo de permeabilidad desde la escala urbana hasta cada espacio mínimo habitable.
2. La idea de un edificio implica un borde continuo (aunque necesariamente permeable) así como permeabilidad entre todos sus espacios interiores.

Así pues, el modelo parte del principio de que el espacio existe y está disponible para que alguien lo use, al menos potencialmente, a menos que lo ocupe un obstáculo (equivalente al borde descrito por Hillier y Hanson). De tal manera que los módulos que componen nuestra unidad mínima de análisis pueden sucederse unos a otros de manera infinita. El área de estudio de una habitación queda pues determinada por sus muros, que representan bordes, y sus accesos, que representan las relaciones de permeabilidad con el resto del espacio habitable.

En las metodologías de análisis antes referidas, la práctica acostumbrada para representar el espacio continuo es el uso de retículas de análisis ortogonal. Sin embargo, un arreglo hexagonal permite que la distancia entre el centro de un módulo y los que le son contiguos sea siempre la misma. Esta disposición de los módulos, mantiene también congruencia con su

representación como esferas, pues la manera más económica de agrupar esferas es en un arreglo hexagonal (Ver Figura 4.4).

Como antecedente sobre esta discusión conviene referirse al capítulo *Non-discursive techniques* de *Space is the Machine: a configurational theory of architecture*, en el cual Hillier explora si una retícula de módulos cuadrados sería suficiente para representar relaciones sintácticas. En dicho capítulo se estudian dos posibles escenarios para la construcción del grafo a partir de una cuadrícula.

1. Primero, una retícula donde las únicas relaciones de adyacencia se dan sobre las aristas, es decir, que un módulo no se conecta a otro en sentido diagonal.
2. En segundo lugar, explora la posibilidad de establecer relaciones de adyacencia entre módulos a través de los vértices, incluyendo así los ocho módulos de alrededor.

En el primer caso, deduce que la distancia topológica entre dos módulos será igual a $m+n$, siendo m el número de columnas de separación y n el número de renglones de separación. En este segundo caso, la distancia topológica entre dos módulos será igual al número que resulte menor entre m y n . Recordemos que la distancia métrica o euclidiana corresponderá a la hipotenusa que se forma, es decir $\sqrt{(m^2+n^2)}$. En ambos escenarios la distancias métricas y la distancia topológica entre dos puntos de análisis coinciden solo cuando m o n valen cero, es decir, cuando los puntos están en la misma columna o el mismo renglón. En todos los otros casos, se generan diferencias de valor que alcanzan su máximo cuando los puntos de análisis están a 45° .

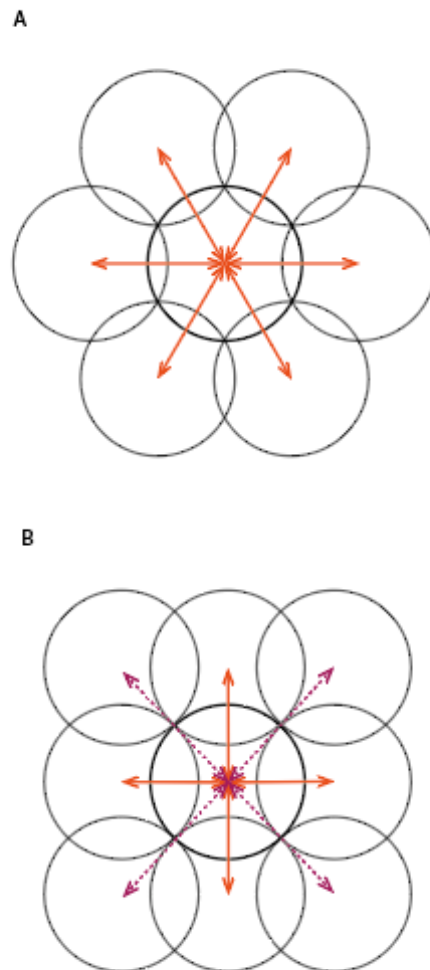


Figura 4.4. A) Relación de proporcionalidad existente entre la distancia métrica y topológica de una red hexagonal. B) Relaciones asimétricas entre distancia métrica y topológica en una red ortogonal. Elaboración propia.

Si, a pesar de estas diferencias, Hillier decide proseguir con una retícula ortogonal, es porque su método se fundamenta sobre todo en medidas normalizadas de centralidad. A pesar de que exista una dispersión significativa entre las distancias métricas y topológicas para cada par de puntos, éstas diferencias quedan anuladas en el cálculo de las distancias totales. En otras palabras, la suma de las distancias de un punto a todos los otros que conforman el sistema presentan diferencias mucho menos significativas que las que existen para cada par de puntos de manera individual (Hillier, 2007, p.79). En el caso que presentamos, la simplificación de Hillier resulta menos efectiva, puesto que el modelo se basa principalmente en medidas locales y no globales.

Al estudiar el diseño de Carlos Scarpa para el museo de *Castelveccio*, Stavroulaki y Peponis (2003) suponen que las dimensiones topológicas, métricas y de visibilidad son marcos complementarios de orientación y referencia para el ser humano (p. 66.12). No obstante, las metodologías de análisis espacial se centran generalmente en la dimensión topológica. Para considerar aspectos métricos, necesitan ponderar las relaciones entre elementos a partir de una comparación entre sus respectivas coordenadas. Esto ocurre porque en una retícula ortogonal existen diferencias significativas entre las distancias topológicas y métricas. Por ello, aquí decidimos hacer uso de la retícula hexagonal que minimiza las diferencias de medidas locales.

Si el módulo peripersonal tiene como diámetro un metro, será necesaria una separación de 0.866 metros entre centro y centro de cada par de módulos hexagonales para cubrir en su totalidad el área de análisis.

Disposición de los módulos en el plano

Con respecto al origen de la retícula, este puede disponerse de manera aleatoria. Para el modelo resulta más importante la regularidad que existe en la distribución de los módulos que su disposición con respecto al área de estudio. Después de todo, se ha concebido el espacio como un continuo infinito delimitado únicamente a nivel local por bordes de distinta naturaleza. La Figura 4.5 muestra que, si bien la escala del módulo trata de representar el espacio que ocupa una persona normalmente, este no necesariamente coincide con el espacio efectivamente designado para ser utilizado.

Se propone que, para determinar si un módulo forma parte del área de estudio, este deba cumplir con dos condiciones. Primero, que su centro se encuentre dentro del área de análisis. En segundo lugar, que su centro no esté obstruido. La razón de estas dos condiciones es que es justamente el centro del módulo el que se utiliza como referencia para el análisis. Esta aproximación asemeja el modelo al del VGA y la retícula de puntos de análisis que utiliza.

Habrá quién considere que la retícula debería adaptarse con mayor fidelidad a la rectitud de los muros y muebles que lo que permite el arreglo hexagonal. Al respecto, Koch argumenta que las entidades de *space syntax* son representaciones de relaciones espaciales y por tanto abstracciones; lo cual significa que deben ser tratadas de modo independiente de aquello que representan. Koch explica que estas abstracciones tienden a transformarse y distanciarse de su referencia, lo cual de hecho es positivo, puesto que permite descubrir propiedades del espacio distintas a esas que se conocían desde un principio (Koch, 2012, p. 2).¹

¹ Para ahondar esta discusión, Koch invita a revisar las posturas de Châtelet , 2000 y Knoespel 1999 y 2002.

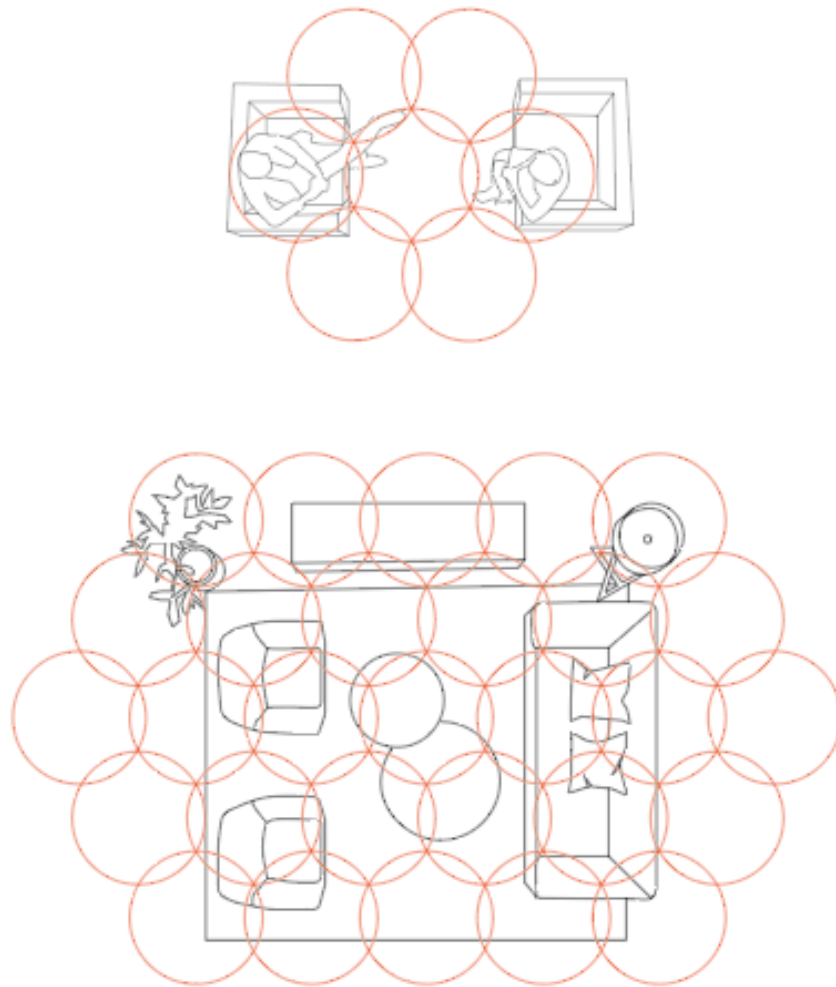


Figura 4.5. Una retícula alineada al mobiliario muestra que a nivel de dimensiones el modelo representa las negociaciones territoriales que se dan en el espacio. Sin embargo, como muestra la imagen inferior, el modelo no puede (ni pretende) indicar posiciones precisas que se alineen a una parte o la totalidad del proyecto. Elaboración propia

De tal manera, la ineficacia de la retícula para ajustarse de manera precisa a la forma arquitectónica o la disposición mobiliaria no parece ser una debilidad del modelo. Aunque el módulo representa el espacio que una persona ocupa, no intenta reconocer la posición precisa dónde una persona ha de pararse, sino las restricciones que tiene para moverse y desplazarse en distintas regiones de la habitación, producto de la distribución de los elementos arquitectónicos.

Según lo dicho hasta ahora, el modelo trata de representar, primero, los módulos de habitabilidad que son accesibles en el sistema. Después, las diferencias en libertad de movimiento que cada módulo ofrece a consecuencia de los bordes que delimitan el espacio. Es decir, que el modelo dibuja relaciones de permeabilidad dentro del espacio continuo.

4.3 Representación gráfica y matemática del modelo

Una vez determinados los elementos y relaciones básicas, es posible definir el modelo a manera de grafo como ocurre con otras metodologías de análisis espacial. El grafo en conjunto contiene al total del espacio accesible dentro de una habitación o un área de estudio delimitada. Cada nodo corresponde a un módulo mínimo de habitabilidad que tiene el área tributaria de un hexágono circunscrito a un diámetro de 1m. A partir del número total de nodos, se puede conocer un estimado del área dentro de la habitación, aunque debe recordarse que el área obtenida de esta manera sólo es aproximada, pues los bordes de la habitación se representan de manera abstracta.

Por su parte, las aristas del grafo corresponden a las relaciones positivas de permeabilidad que existen entre los módulos. Se considera que dos módulos son adyacentes (es decir, que existe una conexión positiva) cuando es posible trazar una línea recta entre el punto central de cada módulo sin obstrucciones de tránsito. Estas relaciones de permeabilidad son negativas en los bordes del área de estudio y como consecuencia de otros obstáculos al interior de la habitación. Para ser considerado accesible y parte del grafo, un módulo debe ser adyacente a por lo menos otro módulo dentro del área de estudio, y debe existir un camino que lo conecte con cada uno de los otros módulos que configuran el sistema.

Dado que el modelo se construye sobre una retícula hexagonal, la conectividad de un módulo es discreta, pudiendo adquirir un valor entre cero y seis. En principio, un módulo con conectividad 0 no cumple el requisito de permeabilidad requerido para ser parte del caso de estudio. se verá más adelante que esto puede ser resultado de la disposición de obstrucciones no arquitectónicas. En términos matemáticos, el espacio infinito queda representado como un grafo 6-regular, dentro del cual la habitación abarca un sub-grafo conexo.

4.4 Interpretación de las estructuras elementales

Para evaluar el modelo, se observa el número de conexiones entre cada módulo y los módulos circundantes. A partir de ello se puede hacer una primera interpretación en función de la accesibilidad; es decir, indica la factibilidad de hacer un movimiento hacia un módulo contiguo. El valor mínimo de 0 denota que la mayor parte del módulo está fuera del área de análisis o es inaccesible. El valor máximo de 6 denota que el individuo se puede mover en todas las direcciones. Los valores intermedios denotan una restricción sobre los cambios de posición posibles, ya sea por un elemento divisorio como un muro, o por un elemento mobiliario que representa una obstrucción.

En el Capítulo 3 se argumentó que la interpretación más honesta sobre una gráfica está en la comprensión de su propia construcción. Así pues, un módulo cuya valencia es de tres debe ser interpretada tal cual como una porción del espacio desde donde sería posible dar un paso en tres direcciones distintas separadas entre sí por al menos 60° cada vez. La medida sin duda da cuenta del grado de movimiento disponible en cada lugar, pero admite muchas posibles soluciones y no una sola predeterminada. La Figura 4.6 muestra algunas posibles interpretaciones para la medición de la adyacencia en primer grado. Los módulos de más baja valencia pueden asociarse con esquinas y nichos tanto en el análisis para la valencia de primer grado como de segundo. Los módulos de este tipo son accesibles, pero para abandonarlos es necesario que la persona vuelva atrás sobre sus pasos, teniendo que girar sobre su eje además, dada la alta restricción de movimiento. En este sentido, ilustran áreas donde puede resultar más incómodo estar. Más adelante, un estudio de correlación podría mostrar si tales atributos conllevan patrones particulares de movimiento.

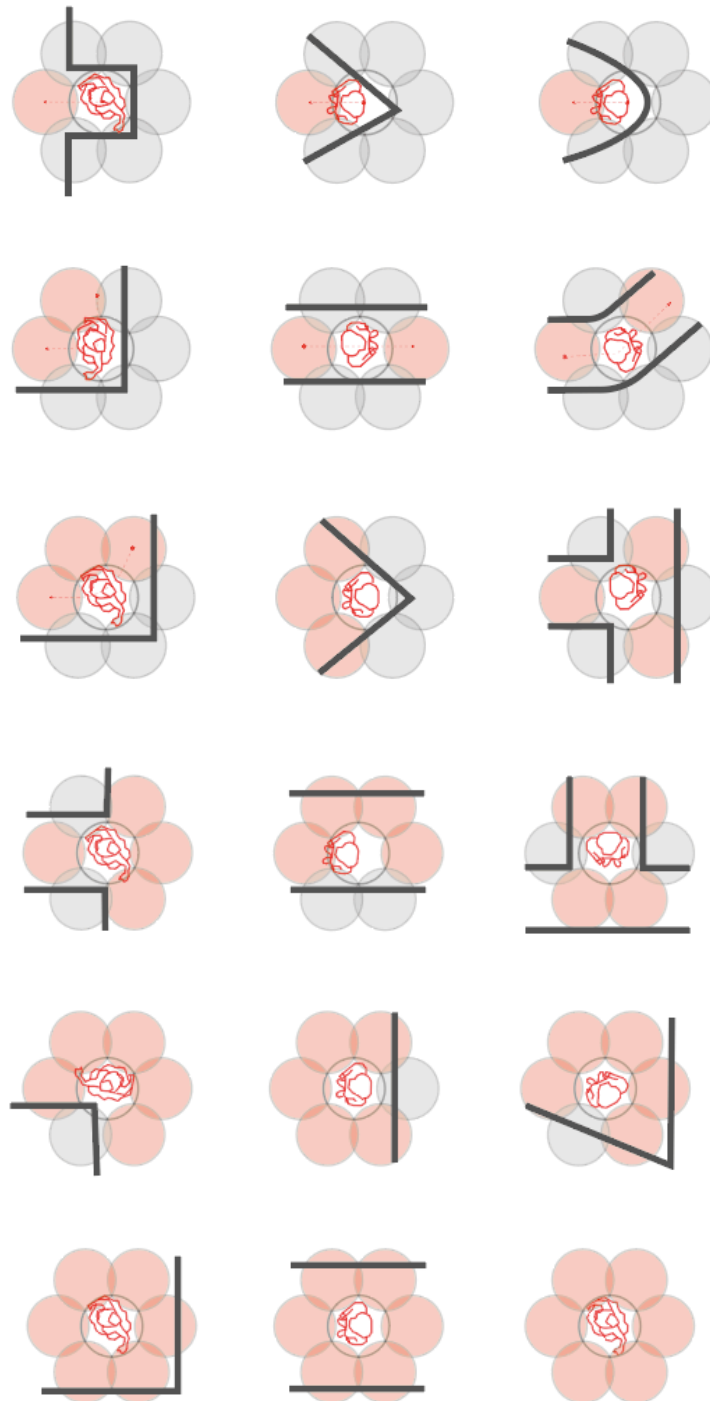


Figura 4.6. Algunos escenarios que ilustran la variación en la libertad de movimiento entre módulos con valencia 1 y 6 (de arriba hacia abajo). Elaboración propia.

4.5 Estructuras complejas

El grafo que hemos construido describe el componente físico del espacio arquitectónico en su dimensión métrica y topológica. A partir de las relaciones elementales de adyacencia, es posible determinar también el número de módulos que son accesibles en un mayor número de pasos. En teoría de grafos, una potencia de la función de adyacencia permite asociar vértices a través de cadenas de longitud igual a la potencia de la función. En *Space Syntax*, a esta misma función se le conoce como “radio de análisis”.

En el marco de esta investigación se incorporó un análisis con radio dos. Es decir, que para cada módulo se calculó el número máximo de módulos distintos que era posible alcanzar en hasta dos pasos. A este valor lo denominamos valencia en segundo grado. Aquí, nuevamente, una valencia con valor de cero significa que el módulo no es accesible. Mientras que la valencia en primer grado contemplaba seis módulos contiguos, con esta función es posible calcular las posibilidades de acceso para un máximo de 18 módulos que se encuentran en la periferia del nodo analizado.

La Figura 4.7 ilustra los caminos que se pueden seguir para alcanzar una celda en dos pasos. Nótese que el camino hacia cualquier celda puede describirse como una sucesión de pasos entre módulos contiguos (representados por las letras A a F). En la tabla se representan: con un subíndice 1, los módulos que pueden alcanzarse en el primer paso desde el módulo de referencia, con un subíndice 2 los que pueden alcanzarse con dos pasos desde el módulo de referencia. Las letras A a F sin subíndice indican la dirección del último paso necesario.

Funciones de adyacencia en segundo grado:

$A_2 = B(F_1)$	$E_2 = F(D_1)$	$J_2 = C(B_1)$	$O_2 = E(E_1)$
$A_2 = F(B_1)$	$E_2 = D(F_1)$	$J_2 = B(C_1)$	$P_2 = E(F_1)$
$B_2 = C(A_1)$	$F_2 = A(E_1)$	$K_2 = C(C_1)$	$P_2 = F(E_1)$
$B_2 = A(C_1)$	$F_2 = E(A_1)$	$L_2 = D(C_1)$	$Q_2 = F(F_1)$
$C_2 = D(B_1)$	$G_2 = A(A_1)$	$L_2 = C(D_1)$	$R_2 = A(F_1)$
$C_2 = B(D_1)$	$H_2 = B(A_1)$	$M_2 = D(D_1)$	$R_2 = F(A_1)$
$D_2 = E(C_1)$	$H_2 = A(B_1)$	$N_2 = E(D_1)$	
$D_2 = C(E_1)$	$I_2 = B(B_1)$	$N_2 = D(E_1)$	

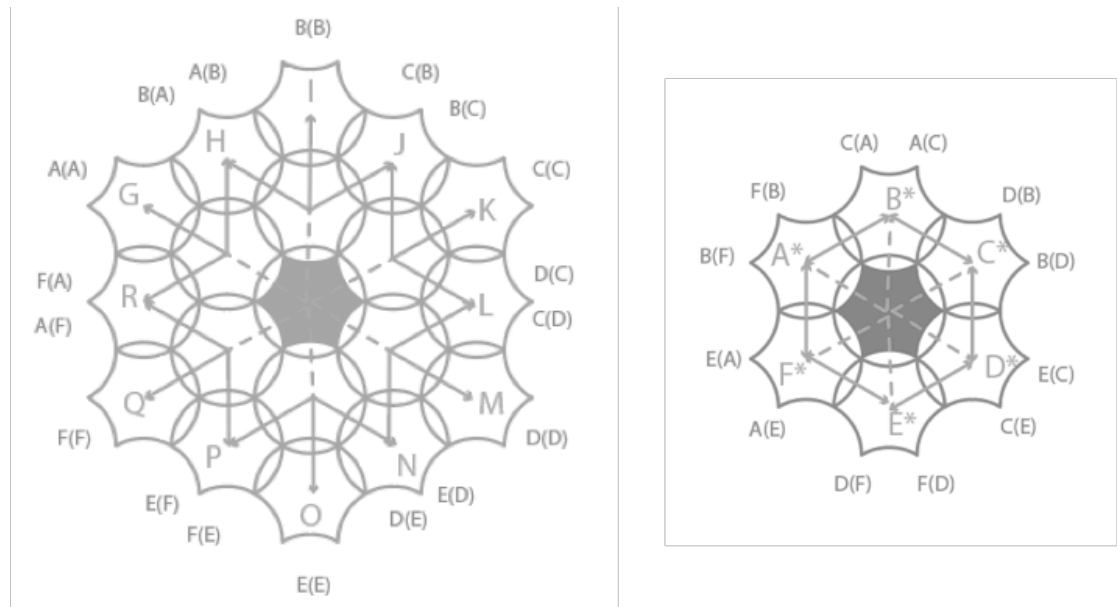


Figura 4.7. Caminos posibles por los cuales se puede alcanzar una celda en dos pasos. Cada camino es una secuencia de celdas contiguas (A a F) que indican la dirección del movimiento. Elaboración propia

Cuando el radio de análisis es mayor a uno, pueden ocurrir que existan rutas diferentes para llegar a los mismos puntos. En el cómputo de la valencia, basta que cualquiera de las rutas posibles sea válida y cada módulo accesible se cuenta una sola vez. Tampoco se espera que haya un camino de longitud exactamente igual al radio, por lo que un módulo que fue accesible en un menor número de pasos se considerará que lo es también para todos los radios de análisis mayores.

Al computar la accesibilidad en dos pasos, es posible reconocer nuevas rutas para alcanzar módulos contiguos que no eran accesibles de manera directa. En otras palabras, el modelo muestra la posibilidad de esquivar un obstáculo y permite calcular los pasos necesarios para rodearlo. En este sentido, creemos que el modelo representa mejor las afectaciones que genera un obstáculo en la locomoción de las personas de lo que lograba el modelo VGA. Recordaremos que tanto en el análisis VGA como en análisis de polígonos de proyección todos los objetos visibles y alcanzables en línea recta se consideran más cercanos que aquellos que se encuentran detrás de un obstáculo. Esto es así porque en dicho análisis cada paso que se suma corresponde a un cambio de dirección, independientemente de la distancia métrica caminada.

El cálculo de valencias puede extenderse a cualquier número de pasos. La Figura 4.8 muestra las rutas posibles para alcanzar un módulo en tres pasos desde la celda de referencia. Si se compara con el ejercicio previo, es evidente que el número de rutas a evaluar irá aumentando de manera exponencial a medida que se incrementa el radio de análisis. Si bien aquí no hicimos el ejercicio para valencias de más de dos grados, es necesario anotar que dentro de la teoría de grafos existen algoritmos como el de búsqueda en amplitud (BFS) que podrían automatizar el conteo de los módulos que son accesibles en determinado número de pasos utilizando la matriz de adyacencia del grafo original.

Funciones de adyacencia en tercer grado:

A ₃ = C(R ₂)	E ₃ = A(N ₂)	K ₃ = D(J ₂)	301 = A(G ₂)	311 = E(M ₂)
A ₃ = E(H ₂)	E ₃ = C(P ₂)	K ₃ = B(L ₂)	302 = B(G ₂)	311= D(N ₂)
A ₃ = F(B ₂)	E ₃ = D(F ₂)	L ₃ = E(K ₂)	302 = A(H ₂)	312 = E(N ₂)
A ₃ = B(F ₂)	E ₃ = F(D ₂)	L ₃ = B(M ₂)	303 = B(H ₂)	312 = D(O ₂)
B ₃ = D(H ₂)	F ₃ = B(P ₂)	M ₃ = E(L ₂)	303 = A(I ₂)	313 = E(O ₂)
B ₃ = F(J ₂)	F ₃ = D(R ₂)	M ₃ = C(N ₂)	304 = B(I ₂)	314 = F(O ₂)
B ₃ = F(A ₂)	F ₃ = E(A ₂)	N ₃ = F(M ₂)	305 = C(I ₂)	314 = E(P ₂)
B ₃ = A(C ₂)	F ₃ = A(E ₂)	N ₃ = C(O ₂)	305 = B(J ₂)	315 = F(P ₂)
C ₃ = E(J ₂)	G ₃ = B(R ₂)	O ₃ = F(N ₂)	306 = C(J ₂)	315 = E(Q ₂)
C ₃ = A(L ₂)	G ₃ = F(H ₂)	O ₃ = D(P ₂)	306 = B(K ₂)	316 = F(Q ₂)
C ₃ = B(D ₂)	H ₃ = C(G ₂)	P ₃ = A(O ₂)	307 = C(K ₂)	317 = F(R ₂)
C ₃ = D(B ₂)	H ₃ = F(I ₂)	P ₃ = D(Q ₂)	308 = D(K ₂)	317 = A(Q ₂)
D ₃ = F(L ₂)	I ₃ = C(H ₂)	Q ₃ = A(P ₂)	308 = C(L ₂)	318 = A(R ₂)
D ₃ = B(N ₂)	I ₃ = A(J ₂)	Q ₃ = E(R ₂)	309 = D(L ₂)	318 = F(G ₂)
D ₃ = C(E ₂)	J ₃ = D(I ₂)	R ₃ = B(Q ₂)	309 = C(M ₂)	
D ₃ = E(C ₂)	J ₃ = A(K ₂)	R ₃ = E(G ₂)	310 = D(M ₂)	

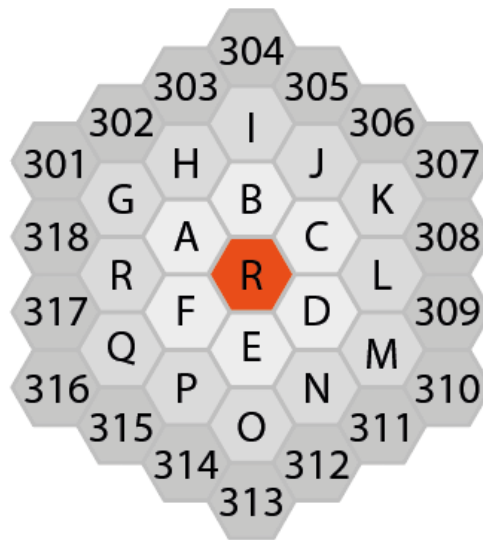


Figura 4.8. Caminos posibles por los cuales se puede alcanzar una celda en tres pasos. Elaboración propia

Representación de los obstáculos

El modelo propuesto trata de representar los obstáculos que restringen la libertad de movimiento en el espacio arquitectónico. Un obstáculo se puede tratar de un elemento arquitectónico, un elemento mobiliario e incluso otra persona. Proponemos que este paralelismo entre lo animado y lo inanimado es posible. Stavroulaki y Peponis (2003) parecen sugerirlo también cuando proponen que las mamparas que Scarpa montó en el museo de Castelvecchio ocupaban posiciones que normalmente estarían disponibles para los visitantes, gesto que logra animarlas de un modo metafórico. No obstante, la analogía entre lo animado y lo inanimado tendría que hacerse con cautela, pues se corre riesgo de incurrir en contradicciones como las que acusa Koch (2012) cuando se eliminan de la ecuación relaciones sociales que tendrían que ser centrales para una teoría del orden espacial.

La solución propuesta para el modelo es la de utilizar una misma representación matemática para todo tipo de obstáculos, pero resolver el análisis en fases. En el Capítulo 2 se había explicado que, aunque existen muchos actores que participan de la conformación del entorno, estos se incorporan de manera ordenada en el espacio. Recordando lo dicho con anterioridad, la configuración de los elementos arquitectónicos acota las posibilidades de la disposición mobiliaria y ésta, a su vez, limita el espacio disponible para ser ocupado por otros obstáculos incidentales, que bien podrían ser otras personas. Se puede esperar que las personas cambien de posición más pronto que el mobiliario y que éste se reacomode en varias ocasiones sin necesidad de alterar la disposición de los muros y otros elementos arquitectónicos. Por esta razón, se propone evaluar los espacios en varias fases anidadas.

En este capítulo esbozamos un modelo de análisis espacial que permita estudiar porciones discretas menores al tamaño de una habitación y las ofertas de movimiento que resultan de las relaciones que guardan unas con otras. Como unidad mínima de análisis se propuso utilizar una esfera contenida dentro del espacio peripersonal, acotada a un metro de diámetro, que pudiera representar el rango de movimiento de las actividades cotidianas. Las unidades de análisis se dispusieron en un arreglo hexagonal (en contraste con los acostumbrados arreglos ortogonales) para representar mejor la libertad de desplazarnos en todas las direcciones. Este arreglo también permite hacer una lectura de las distancias de una manera que es a la vez topológica y geométrica y que puede asociarse al recorrido que se logra con cada paso.

La oferta de movimiento entre un módulo y otro se considera verdadera si existe la posibilidad de trazar una línea recta entre el punto central de un nodo y el otro, sin que existan obstáculos intermedios. De tal manera, se puede evaluar la valencia en primer grado de cada módulo entre 0 y 6, según si el módulo es inaccesible o permite el movimiento en todas direcciones hacia un módulo contiguo. En un segundo análisis, se propone extender el radio de análisis del modelo, contando el número de módulos accesibles en un número mayor de pasos. Este sistema permite estimar la distancia hacia diferentes porciones de la habitación tomando en cuenta el impacto de las obstrucciones que se hallen en el camino.

.Finalmente, se propone que es posible aplicar el mismo método para estudiar todo tipo de obstáculos. Sin embargo, se sugiere registrarlos en capas agregadas para mantener presente las distinciones sociales y temporales que existen entre los diferentes elementos que componen el ambiente arquitectónico.

CAPÍTULO

5

**Aplicación de la
propuesta en salas de
exhibición**

Este capítulo tiene como objetivo poner a prueba el modelo de análisis planteado en el Capítulo 4 para ejemplificar su uso y explorar sus capacidades descriptivas. Como caso de estudio, se eligió utilizar salas de exhibición como caso de estudio puesto que se trata de un género ampliamente abordado en la literatura del análisis espacial, además de que presenta tres ventajas metodológicas que se describen a continuación:

- Son espacios públicos. Por esta razón, la población que los utiliza es demográficamente heterogénea. Desde el punto de vista estadístico, el manejo de una muestra aleatoria permite aislar el sesgo en el comportamiento de grupos poblacionales particulares.
- En segundo lugar, existe una clara diferenciación de los actores que participan en la configuración del entorno. Por una parte, los diseñadores arquitectónicos confieren al espacio de una geometría base y de sus relaciones topológicas básicas con respecto a los otros elementos del conjunto. A partir de las posibilidades que el espacio ofrece el equipo curatorial interviene el espacio para acondicionarlo a los requerimientos

particulares de la exhibición, sin necesidad de que participe el mismo arquitecto que diseñó el edificio. Finalmente, los visitantes recorren el espacio, pero no tienen posibilidades de intervenir más que con su propia presencia. Esta diferenciación es más clara que la que podría haber en un proyecto de casa habitación, donde el usuario interactúa con el espacio amueblado pero tiene libertad también de modificarlo.

- En tercer lugar, los museos varían la disposición de sus exhibiciones con relativa frecuencia, permitiendo la realización de estudios transversales así como series de tiempo. De tal manera, se pueden replicar ejercicios donde algunas variables permanecen estáticas y otras varían. Como ejemplo de un estudio transversal, Peponis y otros (2003) estudiaron la interacción del público frente a un mismo contenido que se emplaza en dos lugares diferentes. Como ejemplo de una serie temporal, Zamani y Peponis (2007) analizan tres configuraciones diferentes que han tenido lugar en las salas del *High Museum of Art* en Atlanta.

5.1 El museo como objeto de investigación

Un museo es un lugar cuya función principal es la exhibición de piezas a un público general. A partir de ello podemos identificar dos actores principales que interactúan en el espacio de manera asincrónica. De un lado está el equipo curatorial que definen el contenido, alcance y forma de la exhibición. Por otro lado están los visitantes que hacen uso del espacio para satisfacer sus necesidades de ocio o aprendizaje. El resto de los actores sirven más bien a las funciones administrativas del local, como pueden ser los taquilleros, el personal de limpieza y los vigilantes que resguardan la preservación de los objetos exhibidos.

El objetivo de la confrontación entre los curadores y los visitantes puede variar en función de la vocación museística. En este sentido, Carla Padró distingue cuatro tipos de narrativa: la estética, la disciplinaria, la experiencial

y la crítica (Arriaga, 2011). En una narrativa estética, el objeto es simplemente expuesto, pues se considera que posee un valor autónomo que puede prescindir de cualquier explicación; como en un espacio escultórico. En una narrativa disciplinaria, el objetivo principal del curador es educar al público visitante utilizando las piezas como soporte de un discurso institucional. Así ocurre por ejemplo, en el Museo Nacional de Antropología. En la narrativa experiencial, el centro de atención migra del objeto hacia la persona que visita y se plantea al museo como un espacio de ocio que permite una exploración cultural en un ambiente distinto del escolar. Este caso podría ilustrarse con el Papalote Museo del Niño. Finalmente, una narrativa crítica parte del reconocimiento de que las exposiciones tienden a reproducir estructuras sociales hegemónicas; para minimizar este efecto, procura la exposición de voces diferentes que se confronten entre sí para promover el diálogo. Esta aproximación es frecuente en museos de arte contemporáneo.

La condición asincrónica del acto comunicativo en un museo implica que el discurso del equipo curatorial solo puede expresarse a través de la selección y disposición de los objetos. Además, se puede establecer un tono particular controlando la distancia mínima de seguridad alrededor de los objetos expuestos; o bien, definiendo el nivel de libertad con que el visitante puede desplazarse al interior de las salas y a lo largo de todo el edificio:

A través de la exploración que hacen los visitantes del espacio en el museo, el diseño arquitectónico juega un rol crítico como facilitador de los encuentros entre el visitante y las piezas de exhibición; de tal manera que la experiencia de ir a un museo no puede ser separada de su componente físico.¹ (Kaynar 2005, p. 189, refiriendo a Sirefman 1999)

¹ Traducción propia a partir del texto original: Throughout the visitors' exploration of museum space, the architectural design plays a critical role in facilitating visitor's encounters with the displays, because the museum experience cannot be separated from its physicality

Aunque la relación entre quien realiza la curaduría y quien visita se da de modo asincrónico, algunas otras relaciones se dan de manera simultánea. El museo cumple también una función como espacio de ocio, o simplemente de socialización, con independencia de su función didáctica. Al respecto, Huang (en Tzortzi, 2007b, p. 141) argumentaba que la función didáctica y la función social de los museos de hecho entra en conflicto y que es la tendencia hacia una u otra la que marca una separación entre la configuración espacial de los museos. Esto es, porque para tener control sobre el orden en que cada visitante aborda la información son más útiles las distribuciones deterministas y asimétricas, mientras que para promover el encuentro entre personas desconocidas son más útiles las distribuciones probabilísticas y simétricas.

5.1.1 Estudios desde la perspectiva de la psicología

Mucho antes del desarrollo del análisis espacial, ha existido un gran interés por parte del campo de la psicología y de la práctica curatorial por entender los patrones de orientación y movimiento que suceden dentro de los museos y otros espacios de exhibición. Las primeras investigaciones se centraban principalmente en la actitud y respuesta de los visitantes a diferentes escenarios, así como su impacto en la capacidad didáctica de las exposiciones.

Destacan las investigaciones de Melton, entre 1933 y 1935, sobre la actitud de quienes visitaban el Museo de arte de Pennsylvania. Melton identificó que a falta de otros estímulos, el 70 a 80 por ciento de los visitantes iniciaban su recorrido caminando por el lado derecho de la sala² (Bitgood, 1995) Segundo, que mientras más piezas se incluían en una sala, los visitantes se detenían a observar un menor número de piezas (Yoshimura et al., 2018). Tercero, que cualquier puerta abierta funcionaba como una

² Esta observación no debería generalizarse como un patrón consistente de la navegación humana. El trabajo de Varoudis (2012) muestra una tendencia mayor en los giros a mano izquierda para una prueba en un pasillo en forma de T que conducía a una sala de descanso. Sin embargo, podría ser válida para el caso de los museos como resultado de prácticas sociales arraigadas localmente o de modo general en el diseño de exhibiciones.

atracción, de manera que muchas personas abandonaban la sala por la primera salida, aún si no habían revisado todos los contenidos disponibles (Bitgood, 1991). En suma, resultaba que los visitantes tendían a seguir una línea recta entre la entrada a la sala y la primera puerta disponible (Bitgood, 1992). En oposición, Yoshioka documentó una tendencia de quienes visitaron la Feria Mundial de Nueva York de 1939 a ajustar la dirección del su recorrido más bien hacia las piezas más destacadas de la exhibición (Bitgood, 1995).

En 1993, Bitgood presentó un artículo que resumía las variables que, según otros investigadores como Falk y Dierking, parecían impactar la actitud de los visitantes a museos. Entre las variables sociales incluía edad, género, tamaño y composición del grupo, las pretensiones grupales e individuales, el nivel de disciplina de los tutores y las estrategias de aprendizaje y enseñanza. Además, indica algunas variables relacionadas a las características de la exhibición: las oportunidades y tipo de participación disponible al visitante, el tema de la exhibición, cantidad de textos y objetos, además de la configuración de los elementos:

La configuración física de una exhibición puede tener un efecto en el comportamiento grupal de diversas maneras. Una exhibición diseñada de tal manera que solo una persona pueda ver o interactuar limita el contacto social. Una exhibición diseñada de tal manera que los individuos deban ser altos para poder ver, dejará fuera a los infantes y usuarios de sillas de ruedas, o bien, resultará en que los padres levanten a sus hijos para que estos puedan ver mejor. (Bitgood, 1993, p. 5)³

Bitgood (1994) planteó además que podía hacerse una distinción entre la orientación conceptual (la comprensión que se tiene de la configuración espacial), la navegación (el razonamiento que se utiliza para llegar a un destino) y la circulación (el desplazamiento efectivamente realizado), como

³ Traducción a partir del texto original: The physical configuration of an exhibit can have an effect on group behaviour in several ways. An exhibit designed such that only one person can see/interact limits social contact. An exhibit designed such that individuals must be tall enough to see will filter out young children and wheelchair users or result in parents lifting children to get a better look.

procesos diferentes que suceden en la relación entre la persona que visita y el espacio de exhibición; aunque sugiere que los primeros dos conceptos se estudien de manera conjunta. En el capítulo anterior mencionamos como cada uno de estos procesos puede asociarse a diferentes atributos ambientales y habilidades individuales, asociándose por tanto a ofertas ambientales de distinta categoría.

Bitgood (1995) observó las dinámicas dentro del *Anniston Museum of Natural History*. Como resultado, propuso que existía una jerarquía entre los factores que incidían en la circulación de los visitantes con la siguiente prelación: (1) la existencia de un destino preferente, (2) las atracciones visuales, (3) las puertas abiertas, (4) la inercia del recorrido, y finalmente, (5) el sesgo de giro a la derecha que refería Melton. Bitgood menciona otros factores que podrían incidir también en los recorridos, aunque aclara que no estaban todavía suficientemente documentados, por ejemplo: la tendencia a aproximarse a otras personas, la tendencia a permanecer sobre el mismo acabado en piso, y la tendencia a elegir rutas principales sobre rutas secundarias.

5.1.2 Estudios con técnicas de análisis espacial

Una de las primeras aplicaciones del análisis espacial para el estudio de espacios arquitectónicos fue el estudio comisionado a Hillier y otros como diagnóstico previo a la ampliación de la *Tate Gallery* (también referida como el *Tate Britain*). En el estudio, se concluyó que la distribución de las rutas elegidas, el orden de visita entre las salas, estaba relacionado con variables de integración a escala global, estimadas con base en modelos espaciales de tipo convexo y axial (Hillier et al., 1997). Con base en estos resultados, pronosticaron que el proyecto de ampliación originalmente propuesto probablemente afectaría la inteligibilidad del recinto (en términos de Bitgood, la orientación conceptual de las personas que realizaron la visita). Para evitarlo, recomendaron algunas estrategias de diseño que permitieran

preservar en lo posible la configuración topológica del edificio existente al incorporar la nueva ala.

Durante este mismo periodo, Choi (1997) aplicó el análisis axial, el análisis convexo y el estudio de isovistas para comparar ocho espacios de exhibición repartidos entre el *High Museum of Art*, *Los Angeles County Museum of Art*, *Museum of Contemporary Art*, *Oakland Museum of Art* y el *Asian Art Museum*. Choi plantea que existen dos modelos posibles de organización para la planta arquitectónica de un museo, los cuales no son comparables entre sí. Al primer modelo, lo denomina determinista. El modelo determinista es aquel en el cual existe una secuencia única disponible para aproximarse a las exhibición. En este caso, se hace evidente que los visitantes seguirán casi todos la misma ruta, salvo por algunos casos excepcionales en los que decidan regresar sobre sus pasos. El segundo modelo lo denomina probabilístico. En un modelo probabilístico, las secuencias de la visita y la cercanía que guardan los visitantes con respecto a cada pieza no pueden predecirse, pero supone que se ordenan de manera estadística como un reflejo de la estructura del espacio. Choi pensaba que las variables espaciales resultaban irrelevantes cuando el modelo era determinista, puesto que de todas maneras no existían grados de libertad para navegar el espacio: “Es bastante claro cómo producir un modelo determinista. Todo lo que se requiere es eliminar las alternativas de circulación”⁴(Choi, 1997, p. 16.7).

Aunque Choi refiere conocer el trabajo de Melton, no se pronuncia sobre ninguna de las tendencias que este último había reconocido en el Museo de Arte de Pensilvania. La razón probablemente sea que Choi estuviera más interesado en el carácter social del museo que en su función didáctica; en este sentido, su trabajo se acerca más a la línea de investigación de Hillier. A pesar de ello, Choi no logra correlacionar las variables de integración con la

⁴ Traducción propia a partir del texto original: “It is quite clear how to produce a deterministic model. All that is required is the elimination of circulation alternatives.”

presencia de visitantes (ni siquiera en el modelo probabilístico), de manera que su investigación no logra respaldar los supuestos de la teoría de *space syntax*. En cambio, sí reconoce una relación entre la integración axial y el número de personas que aparecen en el campo visual agregado de cada espacio convexo. Choi considera que la creación de oportunidades de visibilidad recíproca entre los visitantes de los museos es importante para conformar su carácter como espacio público y de encuentro social (1999, p. 16.2); pero, a diferencia de Bitgood, no ahonda en las repercusiones de la co-visibilidad en términos de una definición de ruta.

Otro de los hallazgos de Choi es que a medida que aumenta el número de objetos exhibidos, aumenta también la subdivisión de los espacios en porciones menores (Choi, 1997, p.16.8). Esta observación se refiere más bien al aprovechamiento del espacio que hacen los curadores y no tanto a la respuesta del público objetivo. Podríamos suponer que tal estrategia para resolver la exhibición guardara alguna relación con la implicación de Melton respecto a que las salas que alojan muchos objetos reciben menos atención para cada uno de ellos.

En un estudio transversal, un grupo de investigadores trató de identificar patrones de distribución y exploración en exhibiciones de planta abierta. Para ello, compararon la secuencia de los recorridos, así como los indicadores de interés mostrados por los asistentes a un par de exposiciones que se presentaron, primero ambas, en *The Great Lakes Science Center* y, después, en el *Carnegie Science Center* y el *Tech Museum*, respectivamente. El estudio realizado incluía análisis de isovistas, además de otras aplicaciones experimentales de la teoría de grafos; entre ellas, un grafo que ilustraba relaciones de intervisibilidad, y otro que permitía cuantificar relaciones de adyacencia entre regiones de *Voronoi*⁵ (Peponis et al., 2004, pp. 457-460 y 469). Su investigación denota que algunas relaciones topológicas y de

⁵ Una región de Voronoi está formada por toda el área que es más cercana a su respectivo punto de referencia que a cualquiera de los otros puntos de referencia.

visibilidad son necesarias para mantener la cohesión entre piezas de la misma categoría cuando, como en estos casos, la exhibición aborda temáticas variadas. Estas relaciones deben mantenerse consistentes a medida que una exhibición muda de una locación a otra, con tal de preservar el discurso subyacente. De manera que, como había anotado previamente Choi, la configuración del espacio constituye parte esencial en la construcción de un discurso:

El espacio del museo, en otras palabras, provee una expresión física a los principios de clasificación que deberían hacer comprensibles a las colecciones (...) el arreglo espacial de los objetos solo se hace disponible a la experiencia una vez que los visitantes exploran los edificios que acomodan las colecciones ⁶ (Choi, 1997, p. 16.1)

Además, plantean una distinción entre los tipos de organización que suceden en el espacio de exhibición dependiendo de la escala en la que nos aproximamos a este:

Desde un punto de vista teórico, parecería que a medida que nos enfocamos en el nivel microscópico de la organización y el comportamiento espacial en ambientes de museos, la distinción entre los modelos posicionales y los composicionales resulta fundamental. En un modelo posicional, los aspectos espaciales del comportamiento son afectados por el modo en que los límites obstruyen, en sentido literal, varios tipos de conexiones de accesibilidad o visibilidad para crear estructuras de conectividad o separación, de integración o segregación. En cambio, en un modelo composicional, no es en sí el patrón de obstrucciones literales el que genera un estructura espacial, sino el modo en que el espacio se configura para ofrecernos

⁶ Traducción propia a partir del texto original: Museum space, in other words, provides a physical realization of classificatory principles which are supposed to make the collections accessible to understanding (...) the spatial arrangement of objects only becomes experientially available when visitors explore the buildings that accommodate the collections.

una idea de las relaciones que guardan los objetos.⁷ (Peponis et al., 2003, p. 29.19)

Por un lado, el modelo posicional sirve para evaluar las características del espacio relativas a la posición exacta que ocupa el sujeto. En este caso, los elementos arquitectónicos y de toda naturaleza que integran el espacio físico se interpretan en un sentido denotativo. Un muro es un obstáculo que no podemos atravesar, mientras que un vano es una oferta de tránsito. Por otro lado, el modelo composicional sirve para evaluar las inferencias que hacemos a partir de esos estímulos. Al ver un vano asumimos que hay otra habitación detrás y, dependiendo de sus dimensiones u orientación, podemos incluso deducir su jerarquía dentro del conjunto. Si interpretamos sus ideas en los términos que Bitgood proponía, podríamos decir que nuestra orientación conceptual corresponde parte de un modelo composicional, mientras que nuestra circulación debe resolverse dentro de un modelo posicional.

En paralelo, Stavroulaki y Peponis (2003) utilizaron análisis de isovistas puntuales e isovistas parciales para reflexionar sobre la función simbólica de la distribución espacial; particularmente, en la exhibición montada por Carlos Scarpa en *Castelvecchio*. Este estudio no se apoya en observaciones empíricas. En vez de eso, presentan un estudio descriptivo de las ofertas de visibilidad a nivel local y global que emergen como resultado del proyecto de Scarpa. Concluyen que las dinámicas que ocurren la escala de la habitación no son un simple subconjunto anidado en la superestructura del edificio, sino que las estructuras locales tienen capacidad de distorsionar la dinámica global para darle carácter al espacio:

⁷ Traducción propia del texto original: *From a theoretical point of view, it would seem that as we focus on the micro-level of spatial arrangement and behaviour in museum environments, the distinction between the positional and the compositional models is fundamental. In a positional model, spatial aspects of behavior are affected by the manner in which boundaries literally obstruct various kind of connections of accessibility or visibility in order to create structures of spatial connectivity or separation, integration or segregation. In a compositional model it is not so much the pattern of literal obstructions that generates spatial structure, but rather the way in which space is configured to stage our perception of how objects might be related*

Las obras de arte dejan de ser objetos aislados o contenidos en sí mismos y se convierten en generadores de cualidades espaciales que pueden ser casi habitadas; es decir, apreciadas no solo a través de la vista sino del movimiento.⁸ (Stavroulaki y Peponis, 2003, p. 66.12)

Kali Tzortzi (2004) también estudió la galería de *Castelvecchio* y la comparó con la *Sainsbury Wing*. Su ejercicio trata de relacionar la integración del edificio con la distribución de las piezas a lo largo del recorrido. Para ello, utilizó análisis de campos visuales (p. 132) y grafos de mapas convexos (p. 135). En su tesis doctoral, Tzortzi (2007b) incorpora los análisis previos sobre el *Tate Britain* (el diagnóstico dirigido por Hillier), *Castelvecchio* y *Sainsbury Wing*, con un análisis convexo y axial del *Pompidou*, el *Tate Modern*, el museo *Kröller-Müller* y el *Lousiana Museum*. En su investigación, trata de determinar los atributos espaciales que guían los cambios de dirección en la ruta y generan focos de atención de los visitantes. Tzortzi establece tres posibles relaciones entre el espacio y las piezas de exhibición en un museo. Primero, que el espacio se utilice para resaltar el impacto de los objetos. Segundo, que los objetos se utilicen para resaltar las características del espacio. Tercero, que espacio y objetos preserven su autonomía (Tzortzi, 2007a, p.072-06). Esta idea remite a los tipos de narrativa que definió Padró.

Sin embargo, si seguimos las ideas de Gibson sobre las cuales ahondamos en el tercer capítulo, debemos entender que los objetos de exhibición y el espacio conforman un solo ambiente y es este el escenario en el cual el visitante ejecuta una secuencia de acciones. De esta integración también da cuenta Tzortzi:

La estructura del espacio y la distribución de los objetos parecen trabajar de manera conjunta para motivar la

⁸ Traducción propia a partir del texto original: *Works of art cease to be mere isolated or bounded objects and become generators of spatial qualities that can almost be entered, that is appreciated not only through seeing, but also through moving*

exploración a nivel local, alentar el recorrido de los visitantes y disminuir el ritmo de percepción.⁹ (Tzortzi, 2007a, p.072-08)

Kaynar (2005) hace un análisis de grafos de visibilidad y lo correlaciona con los recorridos observados mediante el seguimiento de ruta de 16 visitantes (p.194). Como Choi, Kaynar resalta la distinción que existe entre museos de circulación restringida y museos organizados en forma de planta abierta (2005, p.192). Siguiendo las ideas originales de Hillier, sugiere que los elementos físicos que conectan o separan espacios, reflejan las estructuras de orden social en el edificio. De tal manera que la configuración del espacio se manifiesta tanto en la circulación de los visitantes entre espacios como en la atención que prestan a determinados objetos de exhibición (2005, p. 192 y 196). Soportándose en el trabajo de Peponis, concluye que las estructuras de permeabilidad que resultan de la disposición de los diferentes elementos de borde organizan el espacio según patrones de accesibilidad (2005, p. 192).

Más tarde, Kaynar, Psarra y Wineman (2009) compararon el recorrido y la actitud de los visitantes de tres espacios de exhibición: *Yale Center for British Art*, el *Museum of Modern Art (MoMA)* y el *High Museum of Art*. A partir de un análisis de grafos de visibilidad y del seguimiento de entre 25 y 34 recorridos por sala. Consideran que la relación de continuidad que mantiene una sala con respecto al resto del edificio aumenta la tendencia de los visitantes a entrar o salir de ellas (Kaynar et al., 2009, p. 094:2). Además, sugieren que la acción de detenerse a ver una obra es inversa a la disponibilidad de visibilidad global, a menos que se trate de un espacio central dentro del conjunto (p. 094:14).

⁹ Traducción propia a partir del texto original: Structure of space and distribution of objects seem to work together so as to encourage local exploration, slow down visitors' paths, and delay the rhythm of perception.

Del estudio de los antecedentes en el análisis exhibiciones se desprenden algunas ideas generales. Las ofertas de exploración en un museo suceden a dos escalas diferentes. En una escala global, el visitante puede tener la opción de elegir las salas a visitar. En cuanto al acto comunicativo, la preferencia de una sala sobre otra normalmente supondrá nada más una selección sobre los temas generales de la exhibición. Sin embargo, en el aspecto social, la libertad en el recorrido general puede aumentar la probabilidad de incurrir en encuentros aleatorios con el resto de los visitantes del museo.

En una escala local, dentro de las salas, las rutas de navegación elegidas afectarán la posibilidad de incorporar determinadas piezas dentro del recorrido, lo cual afecta el contenido particular al que se expone cada individuo. Dependiendo de la naturaleza del discurso curatorial, esta falta de orden puede afectar la cohesión del acto comunicativo, o bien, puede alentar la comparación entre objetos diferentes que deban ponerse en contraste. En este caso, los modelos posicionales resultan más adecuados para entender el tipo de experiencia disponible a nivel perceptivo.

5.2 Presentación de los casos de estudio

El ejercicio se va a desarrollar sobre cinco salas distribuidas entre dos museos de la Ciudad de México: el Museo Júmex y el Museo Universitario Arte Contemporáneo. Ambos recintos fueron diseñados a principios del siglo XXI; además, alojan exhibiciones temporales de arte contemporáneo, lo cual supone similitudes en la propuesta narrativa y en el público esperado. Por otro lado, las plantas arquitectónicas de las salas de exhibición varían entre sí; de manera más evidente cuando se comparan las salas de uno y otro museo, pero también en la distribución de los elementos obstructivos en salas que son geoméricamente similares como ocurre en el Museo Júmex.

A continuación, se ofrece una breve semblanza de estos espacios. Se incluyen croquis sobre la disposición que tuvieron las exposiciones analizadas, mismos que pueden ser revisados con mayor detalle en los apéndices del documento. Vale la pena advertir que los levantamientos se realizaron durante horas abiertas al público y tratando de ocasionar las menores molestias. Por ello, la posición de las piezas y la dimensión de las salas es una aproximación de la real a partir en la información que se pudo inferir del despiece de pisos.

5.2.1 Museo Jumex

El actual recinto para la Colección Jumex fue diseñado por la oficina del arquitecto David Chipperfield e inaugurado en el año de 2013. Cuenta con aproximadamente 1,600m² de espacio de exhibición repartido en tres niveles con sendas salas, una explanada y un sótano. El museo está proyectado de manera tal que la sala principal esté en el nivel superior y se complemente con espacios más pequeños en los pisos siguientes, todos con gran flexibilidad (Butler, 2013).

Existen varios accesos desde la vía pública que coinciden en una explanada abierta, donde normalmente se instala una pieza monumental que

forma parte de una exposición temporal (Figura 5.1: 00). Los boletos de entrada se venden en la tienda ubicada en la planta baja (Figura 5.1: 02) y desde ahí se conduce al visitante al montacargas (Figura 5.1: A), por medio del cual accederá directo hacia el tercer nivel del museo. Saliendo del montacargas, se le invita a hacer un giro a la izquierda (Figura 5.2: 30) para acceder a la sala de exhibición. El recorrido termina en el lado opuesto del mismo pasillo (Figura 5.2: 35) para volver al mismo cubo de circulaciones (Figura 5.2: 30). El descenso a la siguiente sala de exhibición se hace por medio de escaleras (Figura 5.2: C), o bien de un elevador de servicio donde caben hasta tres usuarios (Figura 5.2: B). El mismo formato de circulación se repite en el segundo nivel, rodeando el montacargas y completando el circuito hasta volver a las escaleras. En el primer nivel, que es generalmente el tercero en la secuencia de visita, se habilita un acceso directo a la sala de exhibición sin necesidad de rodear el montacargas. El pasillo que guiaba la circulación en los niveles anteriores (Figura 5.1: 17) se utiliza en este caso para acceder a una terraza que rodea toda la sala con vías de acceso múltiples (Figura 5.1: 12-16). Una última zona de exhibición está en el sótano, junto al área de baños y guardarropa, de modo que esta puede ser visitada al inicio o al final del recorrido, o bien excluida por completo (No incluida en el croquis). La salida a la vía pública es por la Planta Baja, atravesando la tienda del museo (Figura 5.1: 02).

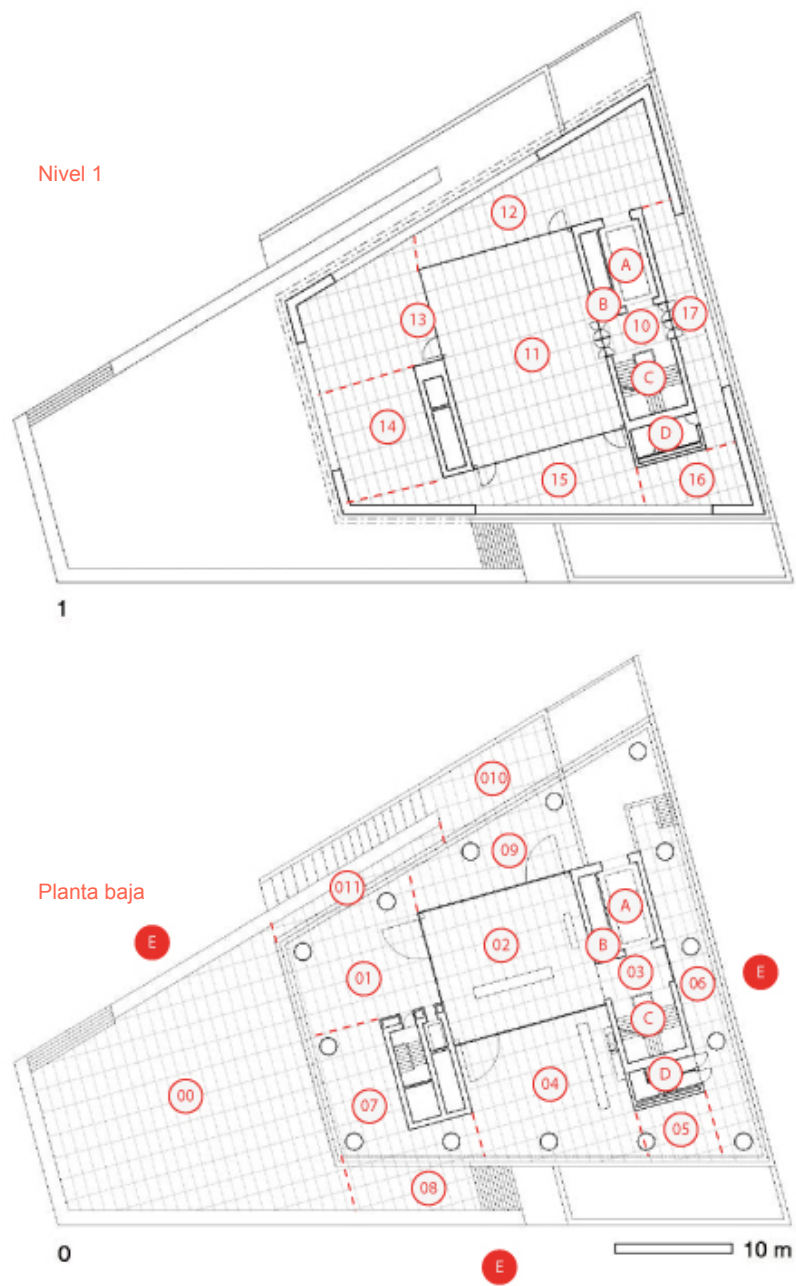


Figura 5.1. Nivel 1 y Planta Baja del Museo Jumex indicando el sentido habitual de circulación. Notas propias a partir de plano original recuperado de: <https://arquitecturaviva.com/obras/museo-jumex>

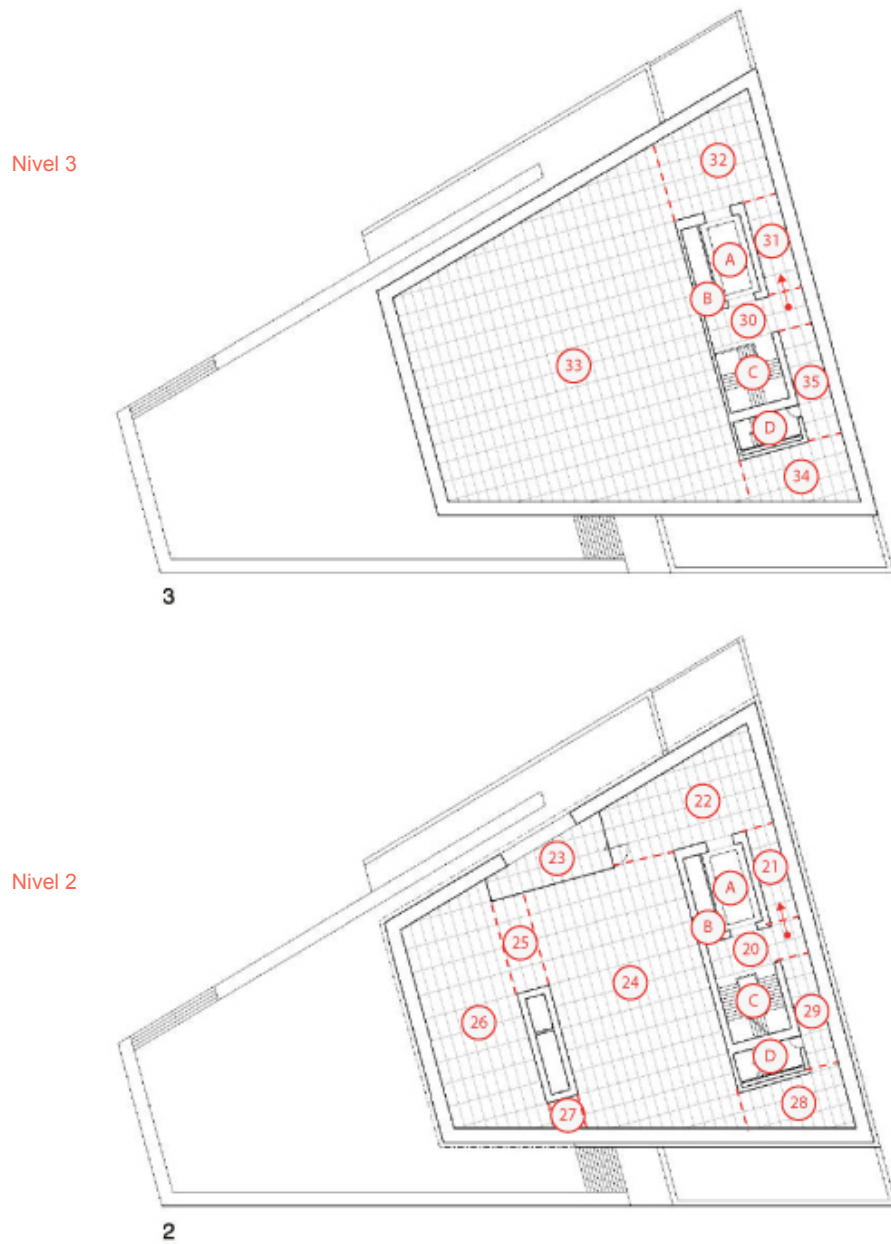


Figura 5.2. Nivel 3 y Nivel 2 del Museo Jumex indicando el sentido habitual de circulación. Notas propias a partir de plano original recuperado de: <https://arquitecturaviva.com/obras/museo-jumex>

Por su sistema de circulación en secuencia, se puede decir que en la escala global, el modelo de distribución de visitantes en el Museo Jumex es de tipo determinista. Por otra parte, la disposición en planta abierta de las exhibiciones montadas otorga amplias libertades para el recorrido (aún cuando la señalética hacía un esfuerzo por condicionarlo), por lo cual se aproximaría a un modelo probabilístico en la escala local. Recordemos que el modelo de distribución determinista delimita la posibilidad de las secuencias visuales y restringe los encuentros entre sus visitantes (Choi, 1997, p. 16.9). En ese sentido, el esquema global se asemeja al caso de estudio del museo de *Castelvecchio* (Comparar con Tzortzi, 2007), o al edificio *Hammer* de *Los Angeles County Museum of Art* (Comparar con Choi, 1997, p. 16.7). Además, el Museo Jumex no tiene otra área de confluencia que la explanada exterior, ni permite la visibilidad cruzada entre una sala y otra. En este sentido, puede esperarse que los encuentros sociales espontáneos ocurran más bien al interior de las salas y en la terraza del primer nivel. Es más probable que uno se tope varias veces con alguien que llegó al museo a la misma hora que con alguien que inició su recorrido en un momento diferente; mientras que al interior de las salas, existe la posibilidad de que cada uno visite las piezas en un orden distinto.

Con respecto a la distribución interior de las salas, el Nivel 3 estuvo ocupado entre el 7 de octubre de 2021 y el 13 de febrero de 2022 por la exhibición “Temperatura ambiente”, una muestra seleccionada por la artista Sofía Táboas de entre las piezas de la Colección Jumex. De manera simultánea, en el Nivel 2, la exhibición “Gama Térmica” exponía la obra personal de Sofía Táboas. Finalmente, el Nivel 1, estuvo ocupado entre el 18 de septiembre de 2021 y el 9 de enero de 2022 por la obra del artista mexicano Leo Marz, cortesía del artista y Pequod Co. A continuación se muestra un croquis general de la distribución. En el Apéndice I se puede ver el catálogo de cada exhibición y fotos desde diferentes perspectivas tomadas durante la visita.

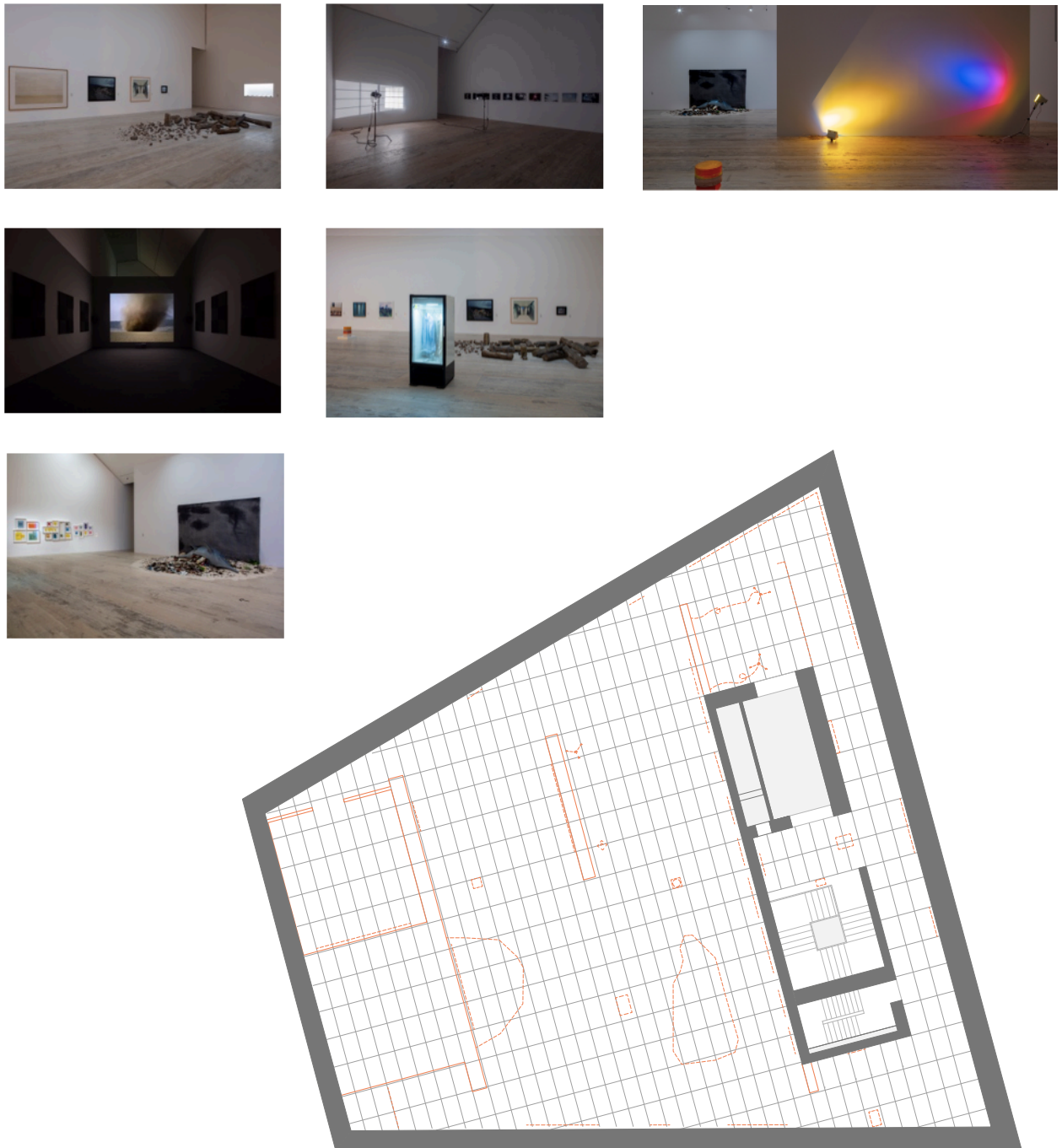


Figura 5.3. Instalación en Nivel 3 del Museo Jumex. 2021. Croquis de elaboración propia.
Fotos: Ramiro Chaves. Recuperadas de <https://www.fundacionjumex.org/en/exposiciones/203-coleccion-jumex-temperatura-ambiente>

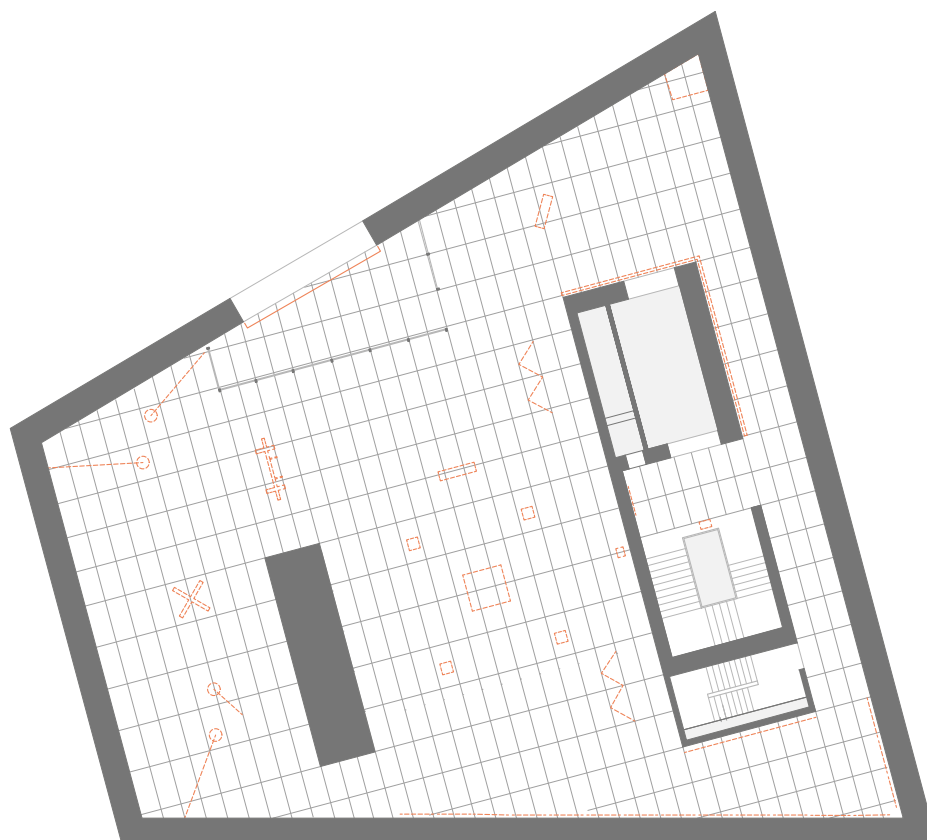


Figura 5.4. Instalación en Nivel 2 del Museo Jumex. 2021. Croquis de elaboración propia. Fotos: Ramiro Chaves. Recuperadas de <https://www.fundacionjumex.org/es/exposiciones/204-sofia-taboas-gama-termica>

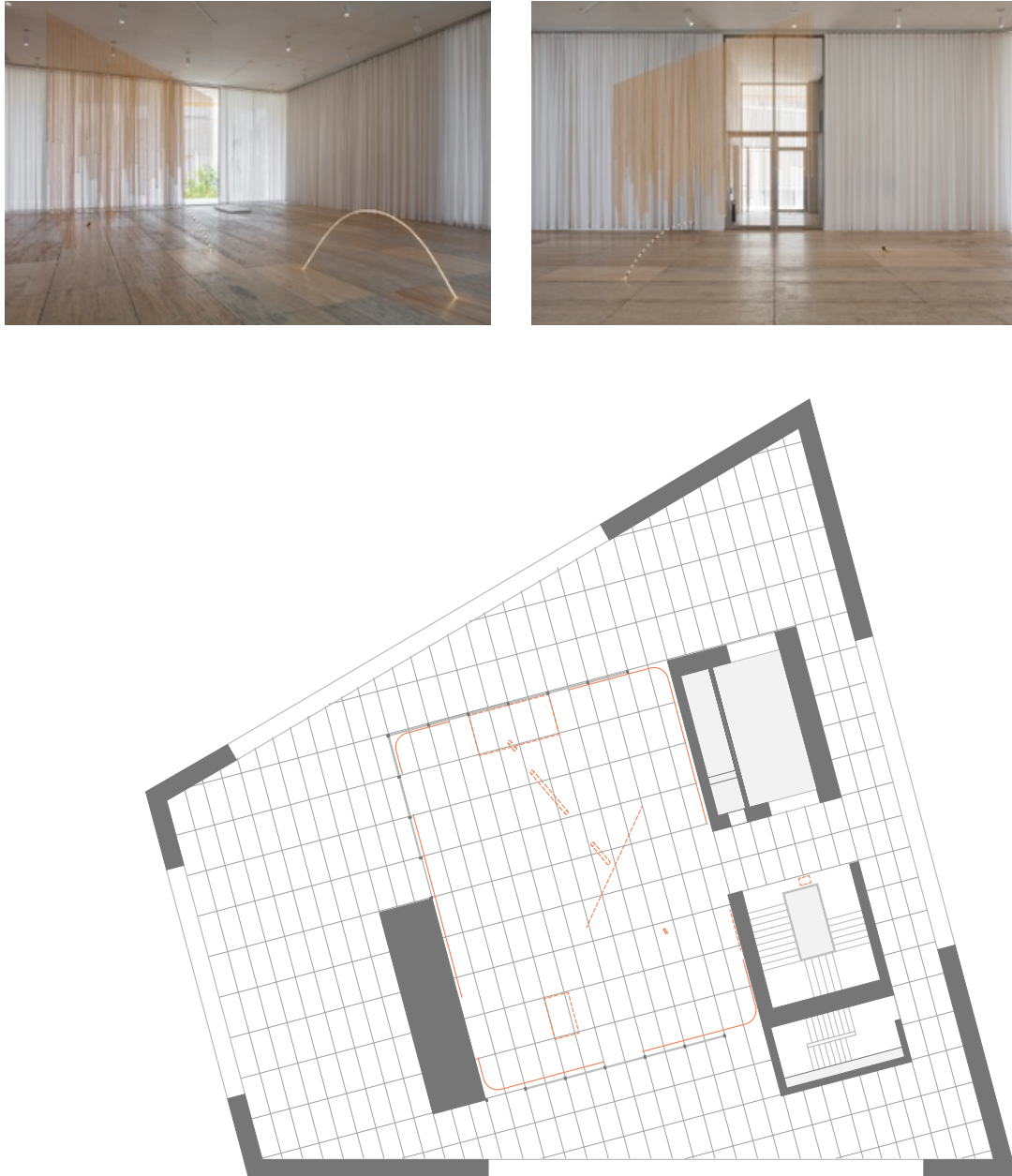


Figura 5.5. Instalación en el Nivel 1 del Museo Jumex. Croquis de elaboración propia. Fotos: Ramiro Chaves. Recuperada de <https://www.fundacionjumex.org/es/exposiciones/205-leo-marz-el-acontecimiento-suspendido>

5.2.2 Museo Universitario Arte Contemporáneo

El Museo Universitario Arte Contemporáneo de la UNAM (MUAC) es un recinto museístico que forma parte del Centro Cultural Universitario del campus central de la Universidad Nacional Autónoma de México desde 2007. Tiene una superficie total de 13,947m², de los cuales 3,286m² corresponden a áreas de exposición. La elaboración del programa de necesidades y la conceptualización del recinto museístico estuvo a cargo de un equipo de expertos del Museo Universitario de Ciencias y Arte de la UNAM, mientras que el proyecto arquitectónico fue asignado al arquitecto Teodoro González de León que ganó un concurso por invitación (De la Torre, 2006).

Desde la conceptualización del proyecto, se decidió que todas las áreas de exhibición estuvieran distribuidas en una misma planta. Esto posibilita que los escenarios puedan ser subdivididos o se combinen entre sí para alojar exposiciones de diferentes tamaños, aprovechándose también de los pasillos y las terrazas contiguas. En algunas de las adecuaciones temporales, es difícil distinguir la transición entre una sala y la siguiente.

[...] en vistas de la no permanencia de las exhibiciones, el área de exposiciones (3,286 m²) no se concibe conformada por salas, sino por nueve espacios, flexibles e interconectables. (De la Torre, 2006, p. 306)

En la propuesta arquitectónica, todas las salas de exposición tienen formas rectangulares, pero varían en cuanto a las dimensiones y la posición de los accesos con respecto a la sala. La configuración geométrica responde a una retícula ortogonal donde cada módulo mide aproximadamente 3m por lado. Esta modulación se traslada a las juntas de dilatación trazadas en el piso de cemento y sirvió como referencia para realizar el levantamiento de las exhibiciones.

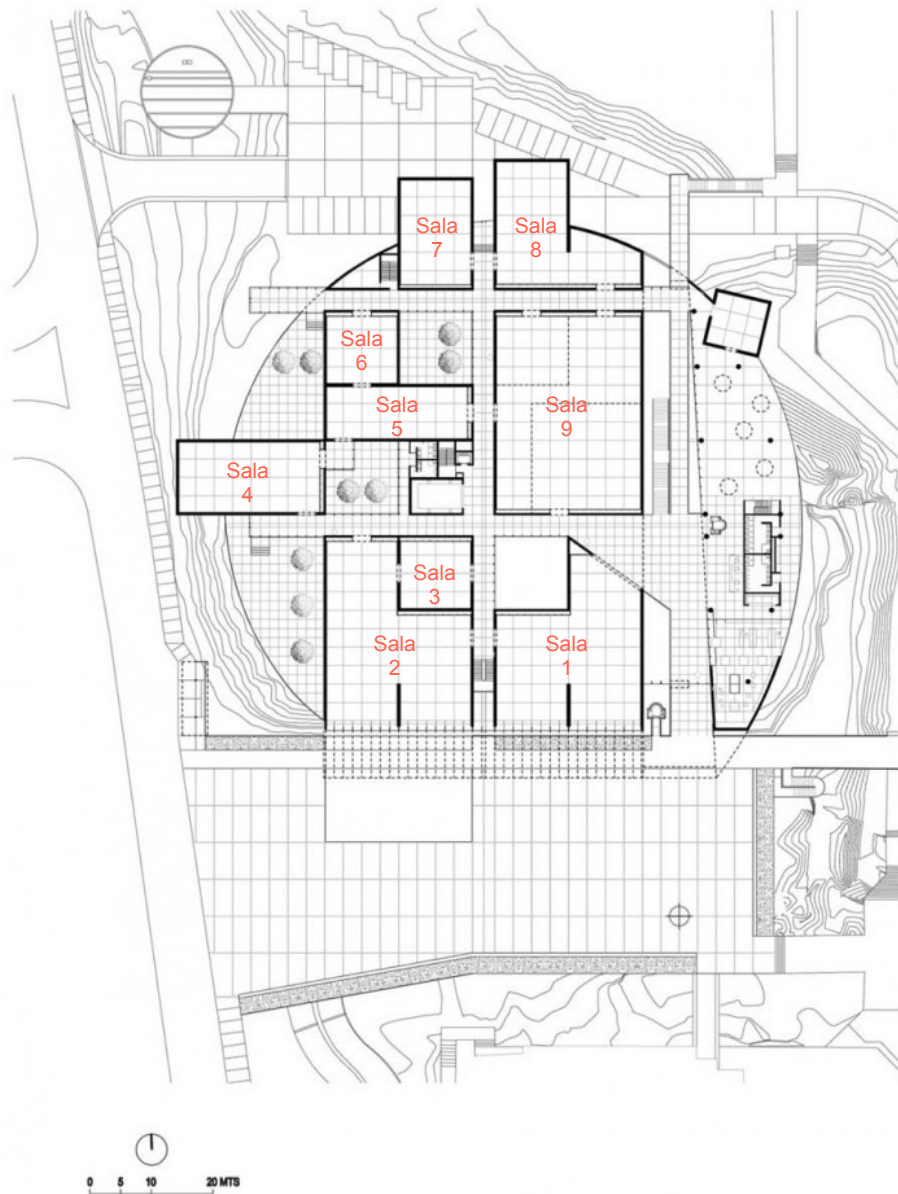


Figura 5.6. Planta de acceso del Museo Universitario Arte Contemporáneo. Plano original recuperado de: Jesús M. Llamosas. Revisión arquitectónica del MUAC

La distribución homogénea de las salas alrededor de un sistema de pasillos hace que el MUAC se acerque más a un modelo probabilístico en su organización a nivel global. Bajo este esquema, que da lugar a recorridos diversos, es posible que el orden de visita entre las salas se distribuya en función de las propiedades sintácticas del edificio (Choi, 1997, p. 16.2), como es el caso del Tate Britain (Comparar con Tzortzi, 2007).

El ejercicio de análisis se realizó sobre la exhibición de Ana Torfs “*Dark Space Where Things Cannot Be Put*”, que estuvo montada entre el primero de octubre de 2021 y el 27 de febrero de 2022 en las Salas 7 y 8. El montaje de la exhibición se muestra en la Figura 5.7. Además, en el Apéndice I se puede revisar el catálogo de las obras y fotografías tomadas durante la visita al sitio.

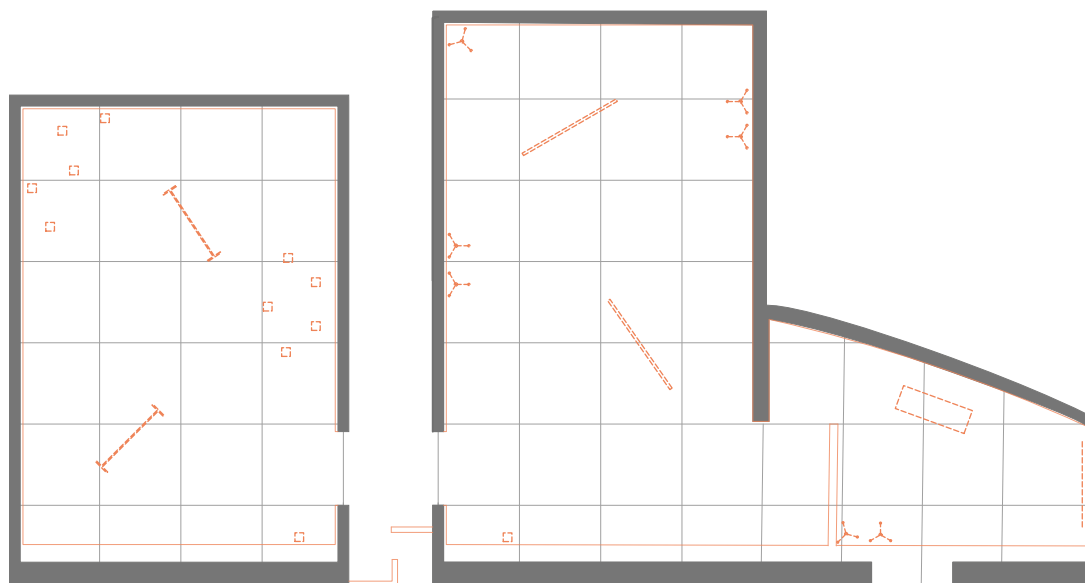


Figura 5.7. Disposición de la exhibición ‘Ana Torfs’ en Salas 7 y 8. 2021. Elaboración personal.

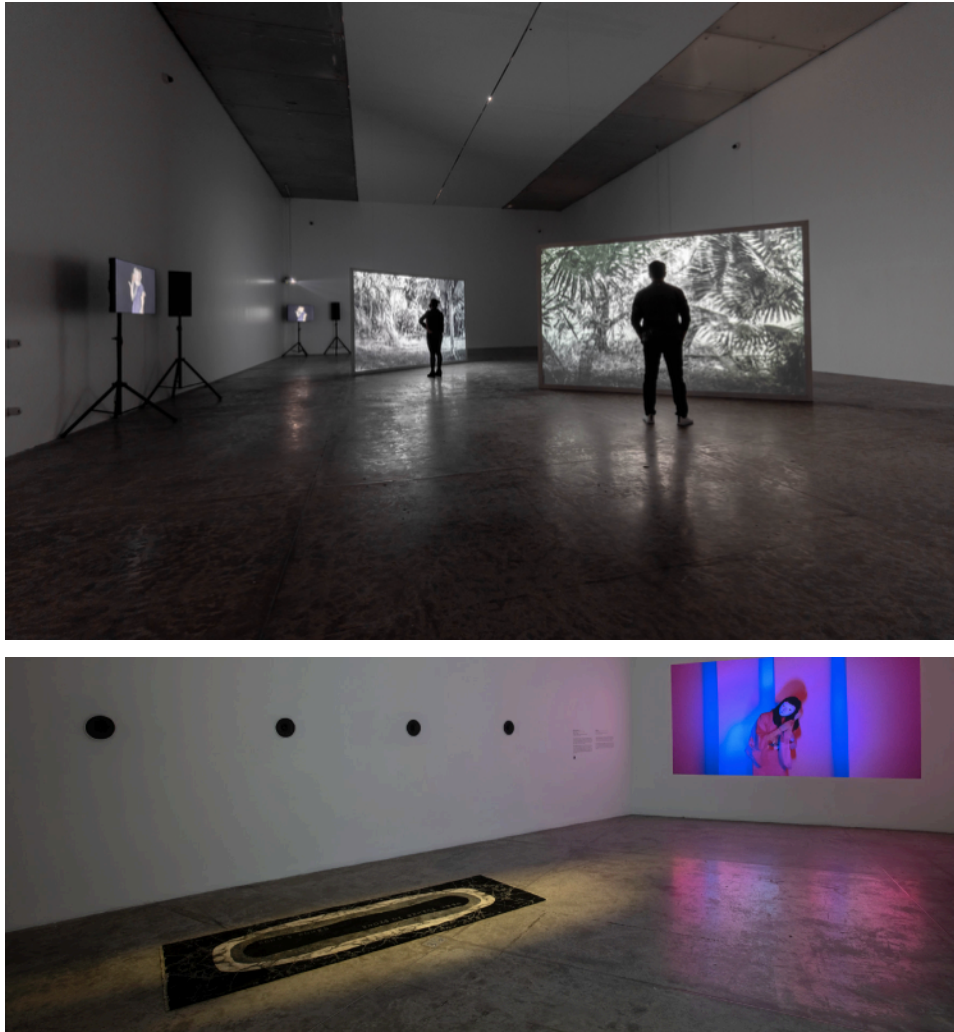


Figura 5.8. Vistas de la instalación en Sala 8 del MUAC. 2021. Foto: MUAC. Recuperada de <https://www.anatorfs.com/projects/The-Parrot-the-Nightingale-a-Phantasmagoria> y <https://muac.unam.mx/exposicion/ana-torfs>

5.3 Implementación del modelo de análisis propuesto

Para iniciar el análisis, se ordenó la retícula hexagonal sobre la planta arquitectónica utilizando como origen un punto fuera del área de estudio. Después, el área de análisis se redujo para incluir únicamente los módulos accesibles (Ver Figura 5.9). Para poder realizar la evaluación, es importante conocer el centro geométrico de cada módulo hexagonal, ya que es en función de este que se determina si dos módulos vecinos son o no adyacentes entre sí.

•

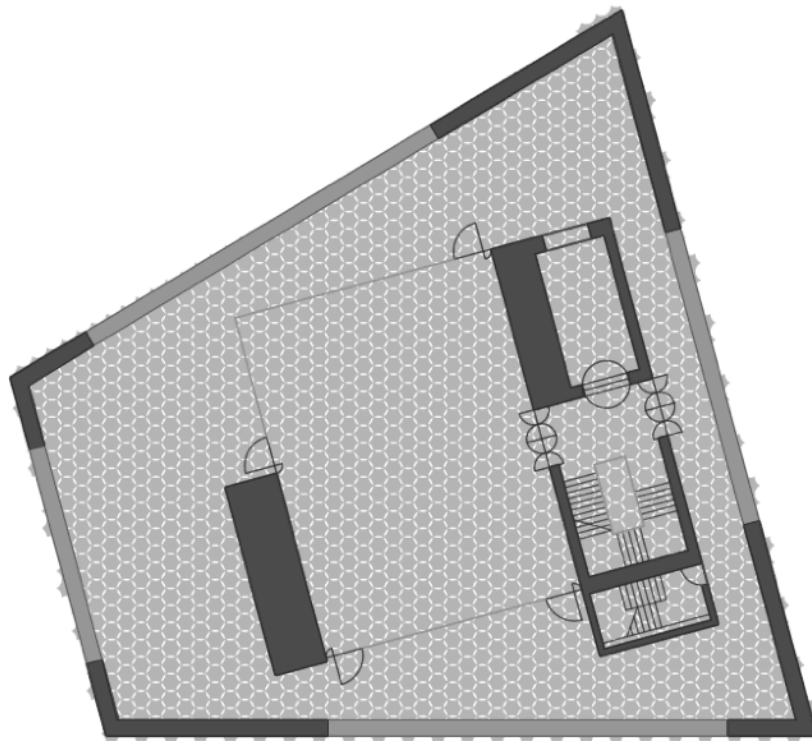


Figura 5.9. Disposición de la retícula hexagonal de análisis en el Nivel 1 del Museo Jumex. Elaboración propia.

5.3.1 Evaluación gráfica de las valencias

A partir de ese croquis, es posible realizar una evaluación de las valencias por medios visuales, contando el número de vecinos accesibles para cada módulo y asignándole el valor correspondiente entre 0 y 6. A partir de la evaluación particular de cada hexágono, se puede asignar un código de color entre azul (para el valor 1) y rojo (para el valor 6), como se maneja de manera convencional para mapas de calor. En este caso, el valor cero lo identificamos con el color gris para distinguir el módulo es totalmente inaccesible.

Ese método es suficiente para generar representaciones gráficas de los rangos de movimiento disponibles en cada zona de la planta arquitectónica. Sin embargo, era necesario registrar esta información en una base de datos para poder hacer comparaciones estadísticas entre proyectos diferentes. En lugar de capturar los valores obtenidos, se consideró apropiado computar el modelo en su totalidad para automatizar la evaluación de las valencias utilizando hojas de cálculo. El método computacional, que se detalla a continuación, permite agilizar la revisión de cada escenario de estudio; sin embargo, en su estado actual no ofrece una representación gráfica, por lo que a lo largo del estudio ambos métodos se usaron de manera complementaria. Aunque todos los ejercicios fueron realizados por la autora de la investigación, existen tanto sesgos de interpretación derivados de errores de lectura y de variaciones en la posición exacta de la malla entre un ejercicio y otro. Por ello, pueden existir pequeñas inconsistencias entre la representación gráfica y los reportes cuantitativos. En todo caso, la disposición aleatoria de la malla da lugar justamente a este tipo de variaciones, por lo que no deberían implicar una diferencia significativa sobre los resultados presentados.

5.3.2 Construcción de la base de datos

Para evaluar las valencias se utilizaron hojas de cálculo de *Microsoft Excel*. El principal problema a resolver era encontrar una manera automática de reconocer si dos módulos eran contiguos. La mayoría de los programas facilitan esta acción utilizando retículas ortogonales. Sin embargo, como discutimos en el Capítulo 4, esto implica renunciar a una equivalencia entre las dimensiones métricas y topológicas entre diferentes puntos de análisis.

Se encontró que era posible solucionar el problema utilizando un sistema de coordenadas oblicuas, semejante al modelo utilizado por Luczak y Rosenfield para procesar imágenes con pixeles de arreglo hexagonal. (Fayas et al., 2012, p. 4). Este sistema de coordenadas oblicuas permite describir la posición de cada hexágono utilizando únicamente dos dimensiones. La primera coordenada corresponde al eje vertical, en el cual todos los módulos están alineados, igual que ocurriría en un sistema cartesiano. Luego, en lugar del eje horizontal, se traza una malla con renglones dispuestos en un ángulo de 60° .

La Figura 5.10 muestra que es posible alcanzar cada uno de los seis módulos vecinos desplazándose solamente una unidad en uno o en ambos ejes de coordenadas. Dadas estas condiciones, es posible hacer la siguiente definición: una celda es contigua a otra si se encuentran a no más de una columna y un renglón de separación. Si la condición se cumple, entonces es posible afirmar que los dos módulos tienen un borde común y una potencial relación de permeabilidad. Además, es posible conocer la dirección del movimiento, dependiendo de la operación específica:

120° (A): Se resta una unidad al número de columna y se resta una unidad al número de renglón.

90° (B): Se mantiene el número de columna y se resta una unidad al número de renglón.

30° (C): Se aumenta una unidad al número de columna y se mantiene el número de renglón.

330° (D): De aumenta una unidad al número de columna y se aumenta una unidad al número de renglón.

270° (E): Se mantiene el número de columna y se aumenta una unidad al número de renglón.

210° (F): Se resta una unidad al número de columna y se mantiene el número de renglón.

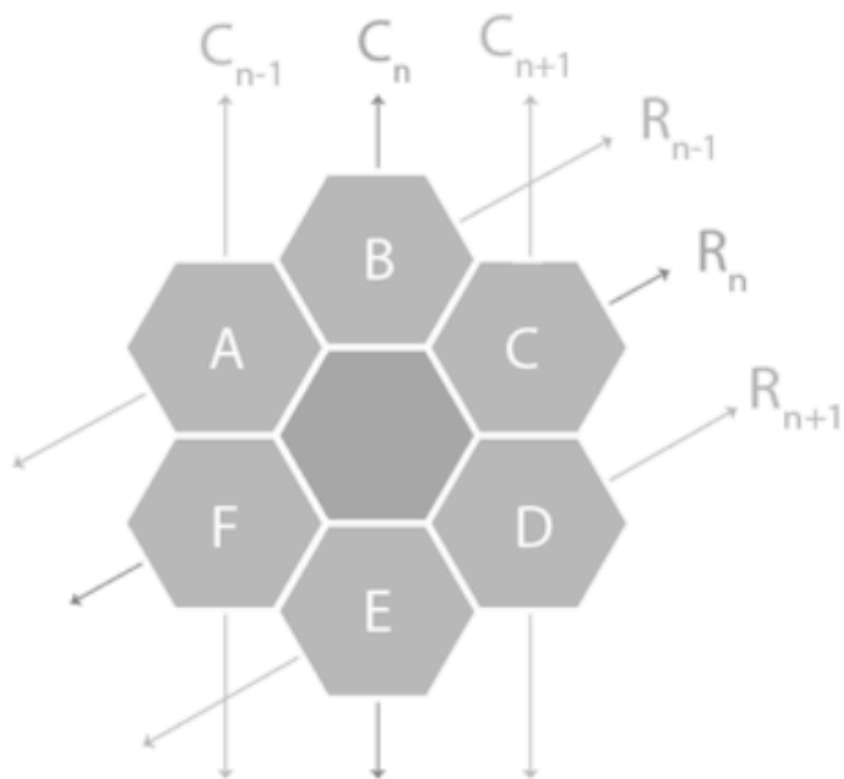


Figura 5.10. Celdas contiguas etiquetadas según su posición relativa respecto a una celda de referencia. Elaboración propia

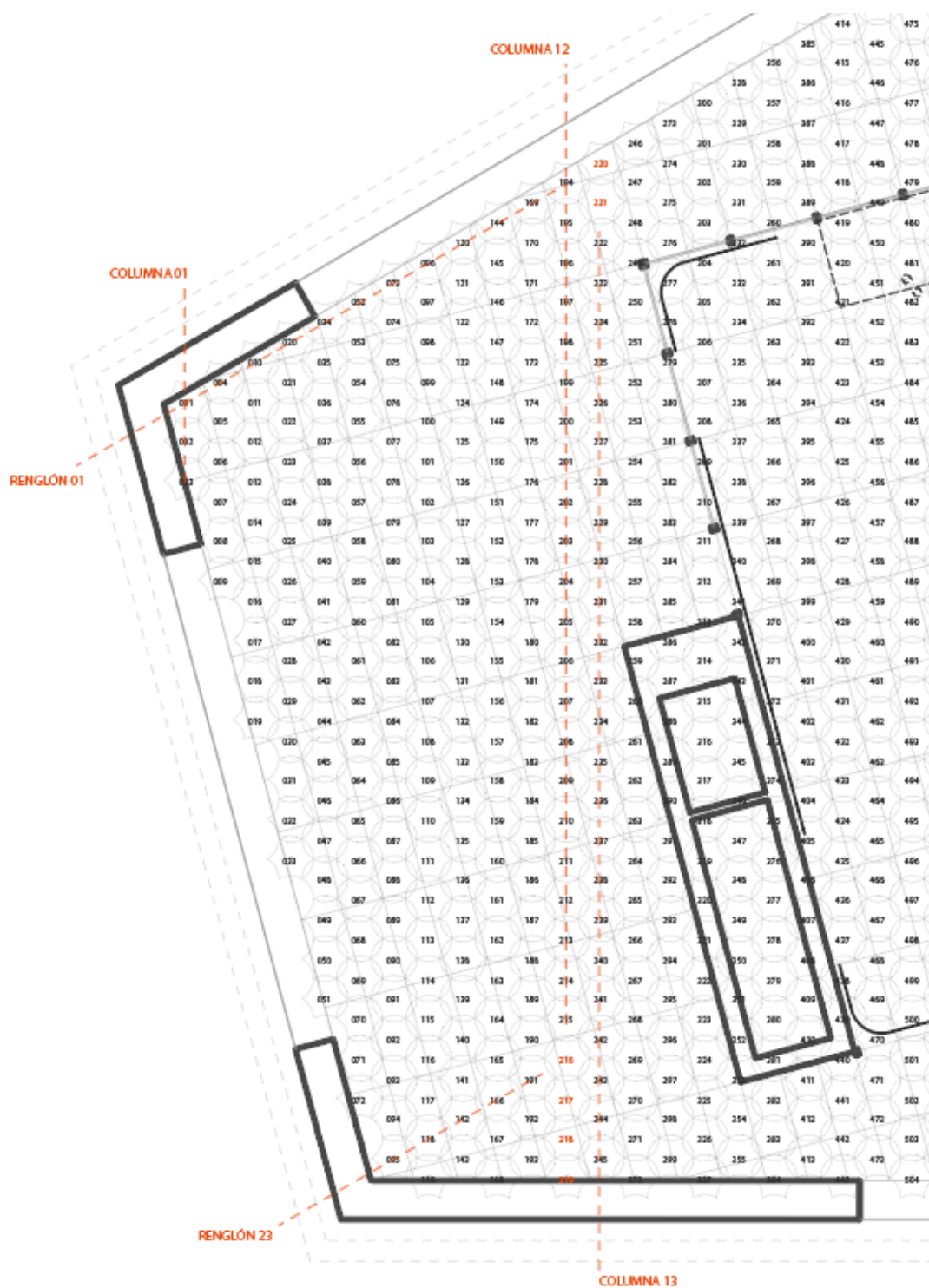


Figura 5.11. Identificadores por módulo asignados de manera consecutiva siguiendo el orden de las columnas. Elaboración propia

La Figura 5.11 muestra el arreglo del sistema de columnas y renglones oblicuos en el Nivel 1 del Museo Jumex. Además, para facilitar la lectura de la base de datos, se asignó un número identificador a cada hexágono dentro del área de estudio, al cual corresponde una coordenada única dentro de cada caso de estudio. A continuación, se describe el procedimiento para generar la base de datos e identificar las relaciones de contigüidad (Para conocer las fórmulas ver Tabla 5.1):

Paso 1: Se ingresa el identificador de cada módulo y se registran sus coordenadas de cada indicando la columna y renglón que les corresponde. Dadas las limitaciones del programa, es importante que las coordenadas se concentren en una sola celda, para lo cual se utiliza la fórmula CONCATENAR.

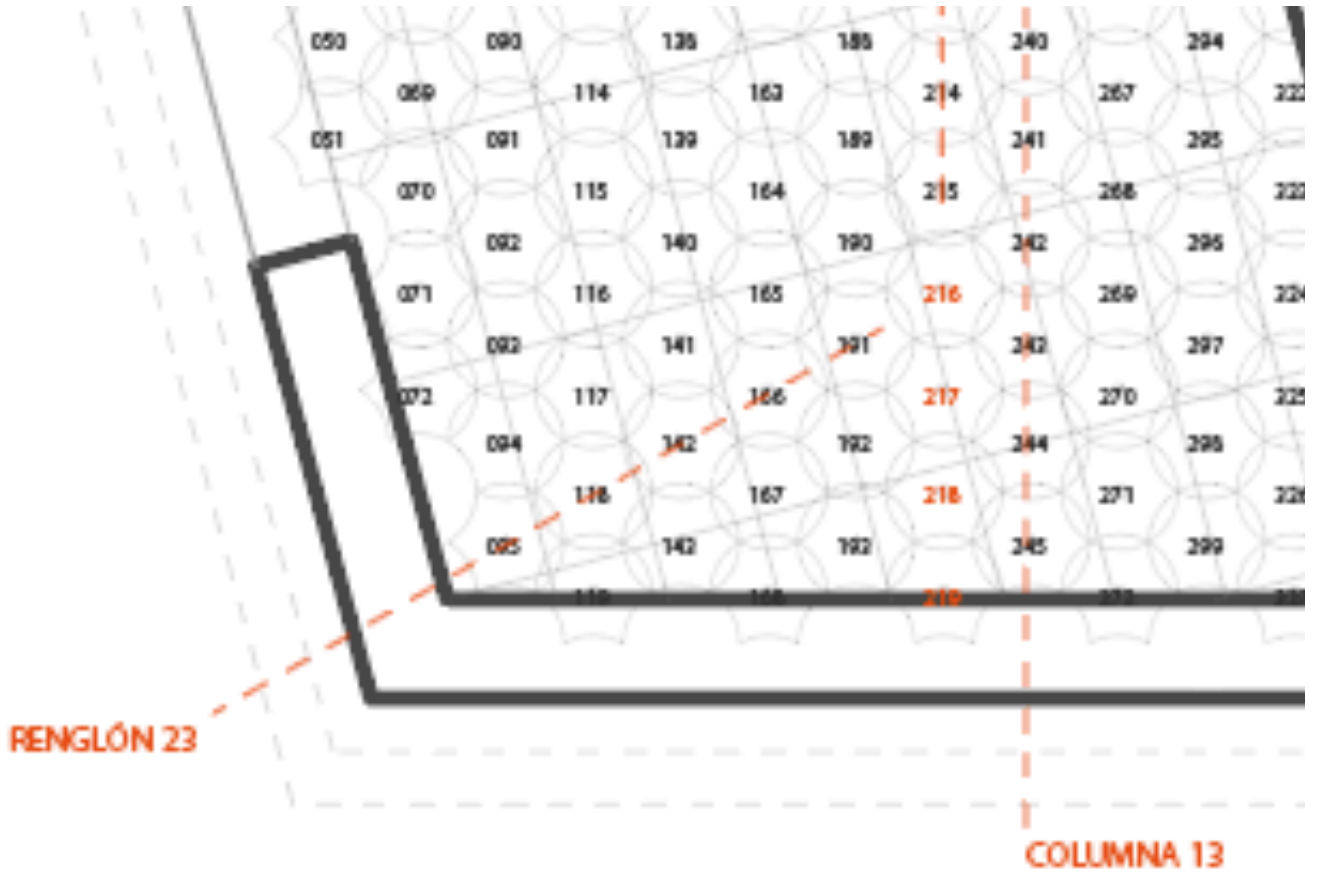
Paso 2: Se calculan las coordenadas de los módulos ubicados en los vectores A a F. Esto se consigue restando o sumando una unidad a los valores de columna y renglón, según corresponda.

Paso 3: Se recupera el identificador que corresponde a cada uno de los módulos en los vectores A a F. Para ello se utilizó la fórmula XLOOKUP, que permite rastrear las coordenadas calculadas durante el paso 2 y devolver el identificador correspondiente según la base de datos construida en el paso 1. Esta operación requiere que la hoja de cálculo enliste primero las coordenadas de cada módulo, y después el identificador.

Si el programa no encuentra la dirección buscada, la hoja de datos devuelve la leyenda "N/A". Ello significa que dentro del conjunto de datos no existe ningún módulo en esa posición relativa. Esta situación es específica para los bordes del área de análisis.

Tabla 5.1 Construcción de una base de datos que representa el espacio continuo				
	Columna en Excel	Título de la variable	Descripción conceptual	Fórmula. El símbolo # representa el mismo número de renglón donde se aloja la fórmula
Paso 1	A	Hall	Zona	Mismo valor para toda el área de análisis
	B	Column	Número de columna	No se requiere fórmula, se repite el mismo número de columna según el número de elementos que contiene
	C	Row	Número de renglón	No se requiere formula, se indican los renglones en forma consecutiva.
	D	Coordinates	Coordenada concatenada	=CONCATENAR("C_",B#,C#)
	E	id	Identificador del módulo	No se requiere fórmula, se ingresa el indicador asignado a cada hexágono. En este caso es un número consecutivo y se aprovechó el comando SEQUENCE.
Paso 2	F	C_A	Coordenadas del módulo en A	=CONCATENAR("C_",SI(B#-1<10,CONCATENAR("0",B#-1),B#-1),SI(C#-1<10,CONCATENAR("0",C#-1),C#-1))
	G	C_B	Coordenadas del módulo en B	=CONCATENAR("C_",SI(B#<10,CONCATENAR("0",B#),B#),SI(C#-1<10,CONCATENAR("0",C#-1),C#-1))
	H	C_C	Coordenadas del módulo en C	=CONCATENAR("C_",SI(B#+1<10,CONCATENAR("0",B#+1),B#+1),SI(C#<10,CONCATENAR("0",C#),C#))
	I	C_D	Coordenadas del módulo en D	=CONCATENAR("C_",SI(B#+1<10,CONCATENAR("0",B#+1),B#+1),SI(C#+1<10,CONCATENAR("0",C#+1),C#+1))
	J	C_E	Coordenadas del módulo en E	=CONCATENAR("C_",SI(B#<10,CONCATENAR("0",B#),B#),SI(C#+1<10,CONCATENAR("0",C#+1),C#+1))
	K	C_E	Coordenadas del módulo en F	=CONCATENAR("C_",SI(B#-1<10,CONCATENAR("0",B#-1),B#-1),SI(C#<10,CONCATENAR("0",C#),C#))
Paso 3	L	A	Identificador del módulo en A	=XLOOKUP(F#,D:D,E:E,"N/A", 0,1)
	M	B	Identificador del módulo en B	=XLOOKUP(G#,D:D,E:E,"N/A", 0,1)
	N	C	Identificador del módulo en C	=XLOOKUP(H#,D:D,E:E,"N/A", 0,1)
	O	D	Identificador del módulo en D	=XLOOKUP(I#,D:D,E:E,"N/A", 0,1)
	P	E	Identificador del módulo en E	=XLOOKUP(J#,D:D,E:E,"N/A", 0,1)
	Q	F	Identificador del módulo en F	=XLOOKUP(K#,D:D,E:E,"N/A", 0,1)

Fuente: Elaboración propia



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Hall	Column	Row	Coordinate:	id	C_A	C_B	C_C	C_D	C_E	C_F	A	B	C	D	E	F
N1	12	21	C_1221	214	C_1120	C_1220	C_1321	C_1322	C_1222	C_1121	188	213	240	241	215	189
N1	12	22	C_1222	215	C_1121	C_1221	C_1322	C_1323	C_1223	C_1122	189	214	241	242	216	190
N1	12	23	C_1223	216	C_1122	C_1222	C_1323	C_1324	C_1224	C_1123	190	215	242	243	217	191
N1	12	24	C_1224	217	C_1123	C_1223	C_1324	C_1325	C_1225	C_1124	191	216	243	244	218	192
N1	12	25	C_1225	218	C_1124	C_1224	C_1325	C_1326	C_1226	C_1125	192	217	244	245	219	193
N1	12	26	C_1226	219	C_1125	C_1225	C_1326	C_1327	C_1227	C_1126	193	218	245	N/A	N/A	N/A

Figura 5.12. Fragmento de la base de datos desarrollada para identificar las conexiones entre celdas contiguas por medio de las direcciones en el sistema de coordenadas oblicuas . Elaboración propia

La base de datos es capaz de identificar todos los módulos contiguos y los que son accesibles en dos pasos, siempre y cuando estos estén incluidos en el área de análisis. Sin embargo, es importante hacer una precisión sobre la construcción de la base de datos. Si bien la información que devuelve la tabla es el identificador de un módulo en específico, no se trata de explicar que dicho módulo existe, sino que el módulo en esa posición es alcanzable desde la celda de referencia. Si queremos interpretar a la matriz como un grafo, las primeras cuatro columnas de la Figura 5.18 describen a los nodos. Las columnas A-F de la misma figura describen arcos en el sistema.

De esta manera, es posible poblar el máximo de conexiones posibles en el área de estudio, antes de considerar el efecto particular que tienen los bordes de diferente naturaleza. El resultado es un grafo 6-regular (excepto en los límites del área de análisis) que representa el concepto de espacio continuo. La constitución de este grafo base es consistente con la premisa del modelo según la cual se entiende al espacio como una consecución de espacios potencialmente habitables, cuya configuración queda determinada por los obstáculos que interrumpen la continuidad en sus relaciones de permeabilidad.

Es posible verificar la operatividad de la base de datos comparando los módulos 216 a 221 en el diagrama de la Figura 5.12. Por ejemplo, el módulo 216 queda ubicado en la intersección de la columna 12 y el renglón 23. Si desde ahí nos desplazáramos en la dirección E (270°), permaneceremos en la columna 11 pero cambiaremos del renglón 23 al 24. La base de datos indica que en esa dirección o coordenada (C_1224) existe el módulo 217, como podemos corroborar al buscar la intersección de las columnas 11 y 24. También es posible verificar que el módulo 219, que forma parte del borde del área de análisis, devuelve la señal N/A cuando busca relaciones de contigüidad en las direcciones D (330°), E(270°) y F (210°).

5.3.3 Representación de los obstáculos

Hasta ahora, el modelo presupone una relación de adyacencia entre módulos contiguos que representa el espacio continuo. Sin embargo, esa conexión es susceptible de quedar anulada por cualquiera de los actores que participan en la configuración del ambiente arquitectónico. A partir de la definición de los obstáculos se determina la configuración específica que corresponde al objeto de estudio. Para el ejercicio, se definieron tres momentos de interés en la configuración de las salas de exhibición:

- Primero, el espacio delimitado por el proyecto arquitectónico.
- Segundo, el espacio reconfigurado por muros temporales y accesos obstruidos para la exhibición presente
- Tercero, por la disposición de piezas de arte que generan obstáculos adicionales.

En otros estudios, podrían utilizarse fases adicionales que incorporaran información sobre la posición de otras personas que ocupan de manera temporal o semi-permanente algunas porciones del espacio. Por ejemplo, en el mismo caso de espacios de exhibición, podrían indicarse los puestos de vigilancia del personal de seguridad, o el medirse el impacto en que genera una persona que se detiene a leer la semblanza de los artistas o el de un grupo que se detiene a discutir una obra en particular.

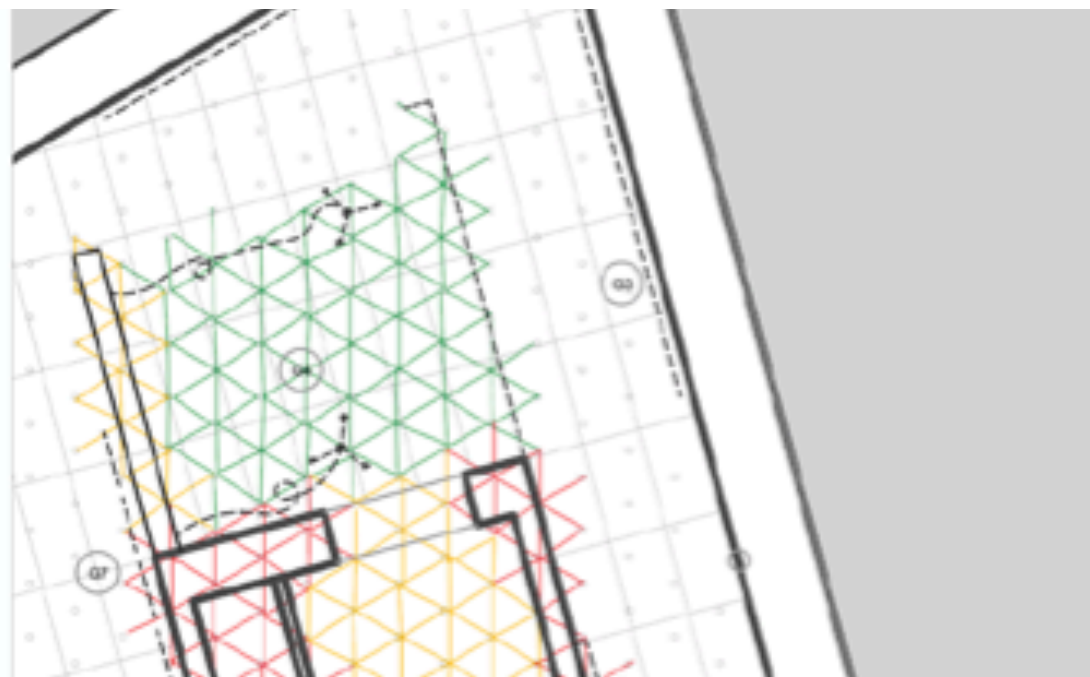
En la base de datos es posible anular una relación de adyacencia introduciendo cualquier nota distinta de un número en las columnas A-F. Puesto que en la base de datos se están registrando arcos (con una dirección definida) y no aristas (sin dirección), el registro de obstáculos se debe realizar para cada uno los dos vértices extremos. La duplicación de la nota garantiza la simetría del grafo no dirigido.

Para trasladar los casos de estudio a la base de datos, se utiliza una lógica inversa a la que se utilizó para analizarlos por el método gráfico. En lugar de contar uno a uno los módulos accesibles desde cada punto de

referencia, se registran los obstáculos que interrumpen las relaciones de



Figura 19. Existencia de espacio con una previsión de los obstáculos ambientales y sociales. Diagrama sobre fotografía propia.



Hall	id	A	B	C	D	E	F	MA-1st DA
N3	1065	N/A	N/A	1104	1105	1066	1026	4
N3	1066	1026	1065	1105	1106	1067	1027	6
N3	1067	1027	1066	1106	1107	1068	1028	6
N3	1068	1028	1067	1107	1108	1069	1029	6
N3	1069	1029	1068	1108	1109	1070	MOB	5
N3	1070	MOB	1069	1109	1110	1071	MOB	4
N3	1071	MOB	1070	1110	1111	1072	MOB	4
N3	1072	MOB	1071	1111	1112	MOB	MOB	3
N3	1073	MOB	MOB	MOB	MOB	MOB	MOB	0
N3	1074	MOB	MOB	MOB	MOB	BRK	MOB	0
N3	1075	BRK	BRK	BRK	BRK	BRK	BRK	0
N3	1076	BRK	BRK	BRK	BRK	FIX	FIX	0
N3	1077	FIX	FIX	BRK	FIX	FIX	FIX	0
N3	1078	FIX	FIX	FIX	FIX	FIX	FIX	0

Figura 5.14. Representación gráfica y matemática de la configuración de una sala de exhibición. Elaboración propia

El método computarizado tiene la ventaja de que permite hacer anotaciones sobre la naturaleza de los obstáculos al momento de hacer el registro. Con la etiqueta BRK, se identificaron cortaduras provocadas por los muros del montacargas y la cancelería fija, ambos correspondientes al proyecto arquitectónico. Con la etiqueta FIX, se identificaron cortaduras provocadas por el cierre temporal de cancelerías abatibles, frente a las cuales se instaló una cortina que además de cancelar la posibilidad de paso, invadía una parte de la sala cercana al perímetro, reduciendo así el área transitable. Con la etiqueta MOB se muestran las cortaduras de conectividad que resultan de las piezas instaladas.

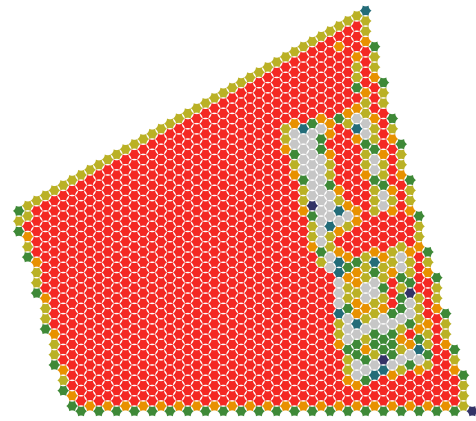
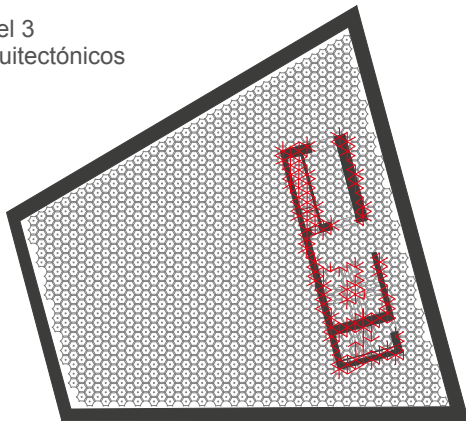
Corresponde al evaluador determinar la categoría de cada obstáculo. En algunos casos, se pueden representar restricciones de paso meramente normativas que están soportadas en señalética en lugar de objetos físicos. Por ejemplo, la Figura 5.13 muestra que la obra de Olafur Eliasson obstruye un área mayor que la que ocupa el desplante de las lámparas. Si bien el espacio entre las lámparas no es físicamente inaccesible sí ha sido delimitado mediante marcas en el piso que suponen una restricción a las personas que visitan la exhibición. Estas obstrucciones normativas aparecen representadas en los diagramas de la Figura 5.14 El criterio sobre la determinación física y normativa de los obstáculos depende de la naturaleza de la investigación. Definir estos criterios es fundamental para poder interpretar los resultados del ejercicio y también para poder comparar la configuración de casos de estudio independientes.

5.3.4 Valencias en primer grado

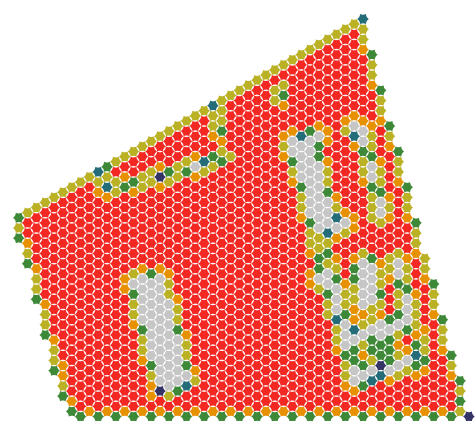
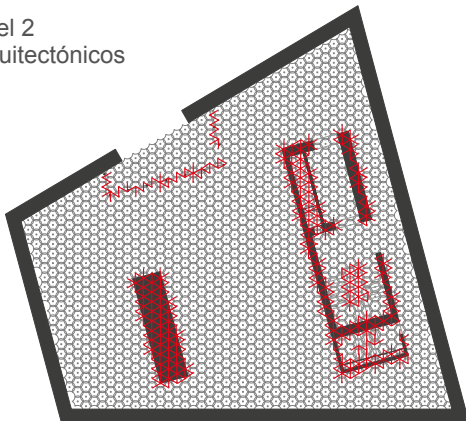
Las Figuras 5.15 a 5.17 muestran la evaluación de las ofertas de movilidad para las tres salas de exhibición del Museo Jumex. La Figura 5.15 muestra, en el lado izquierdo, los obstáculos arquitectónicos registrados en la base de datos, y en el lado derecho, la representación de las valencias en primer grado de cada módulo. Estas son las ofertas de movilidad que provee el proyecto de Chipperfield. En los diagramas se puede apreciar una tendencia del modelo a distinguir los espacios de uso, que tienen las mayores valencias y se representan en color rojo, de los elementos arquitectónicos que dan forma al espacio, como muros u otro tipo de bordes.

La Figura 5.16 incorpora, además de los obstáculos arquitectónicos, las particiones adicionales que se instalaron de manera provisional para la exhibición temporal. La Figura 5.17, además de los anteriores, indica las perturbaciones ocasionadas por la instalación de las piezas exhibidas que ocupan una porción del suelo. Al comparar las figuras, se puede apreciar el efecto agregado que generan los actores dentro de la construcción del ambiente que se explicaba en el Capítulo 3. Si además se modelara la posición de los visitantes, se podría estudiar la disminución en las ofertas de movilidad derivada de la posición que adopta cada persona en el espacio.

Nivel 3
Arquitectónicos



Nivel 2
Arquitectónicos



Nivel 1
Arquitectónicos

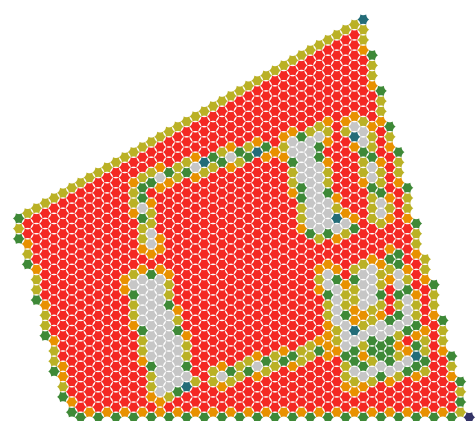
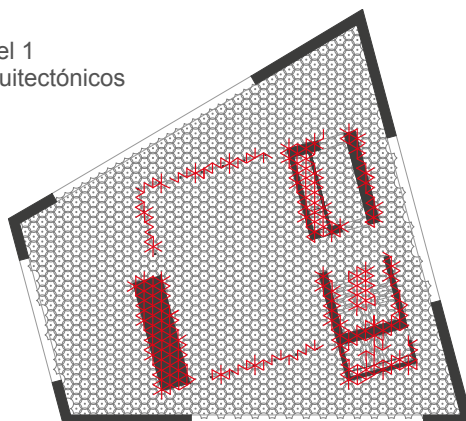
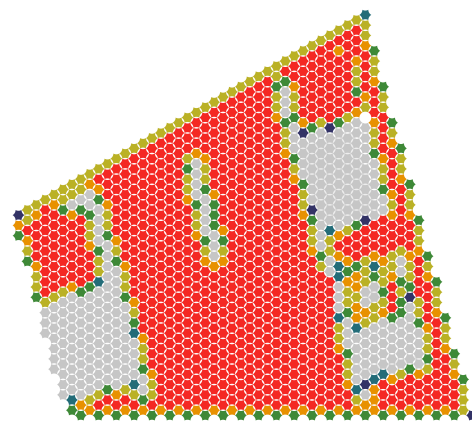
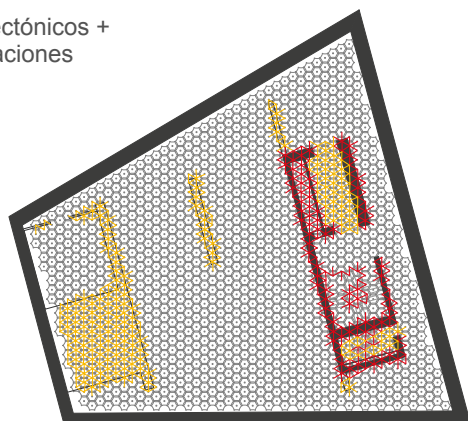
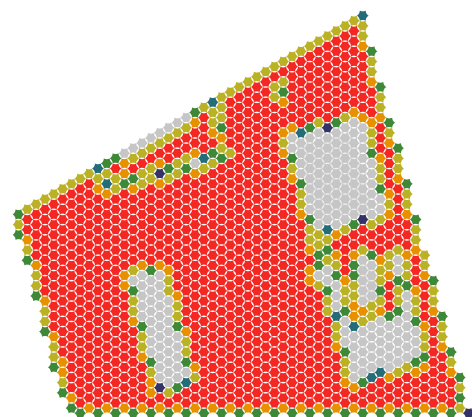
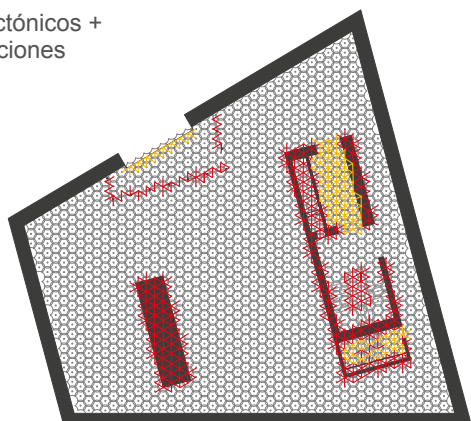


Figura 5.15. Cálculo de la valencia en primer grado considerando obstáculos derivados del proyecto arquitectónico del Museo Júmex. Elaboración propia.

Nivel 3
Arquitectónicos +
adecuaciones



Nivel 2
Arquitectónicos +
adecuaciones



Nivel 1
Arquitectónicos +
adecuaciones

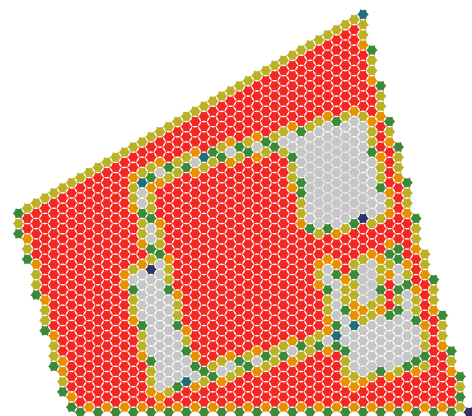
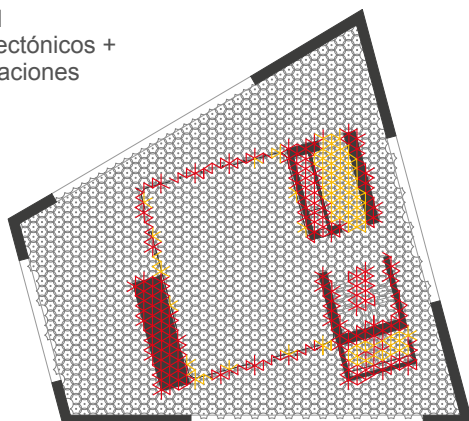
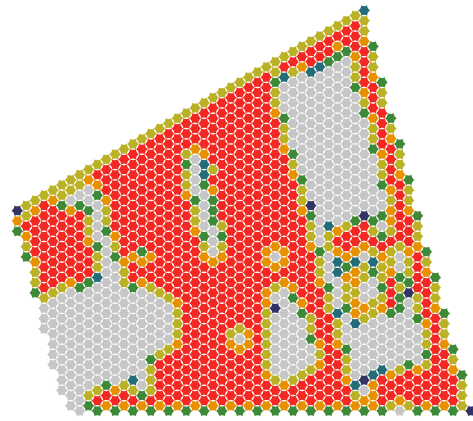
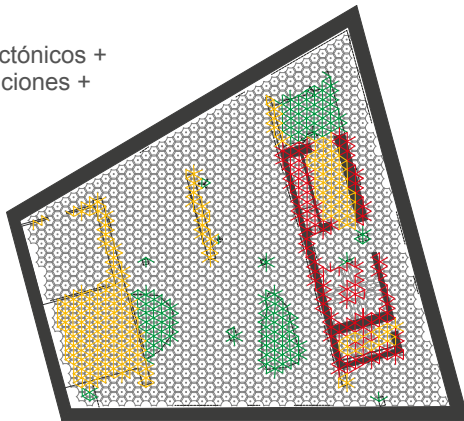
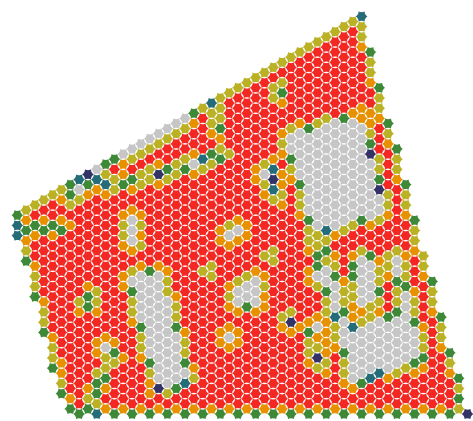
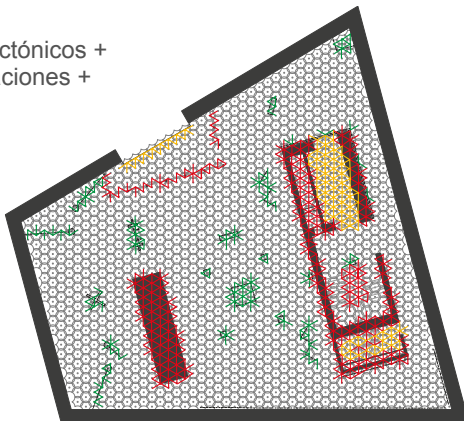


Figura 5.16. Cálculo de la valencia en primer grado considerando obstáculos derivados de las adecuaciones temporales de las salas del Museo Júmex. Elaboración propia.

Nivel 3
Arquitectónicos +
adecuaciones +
obras



Nivel 2
Arquitectónicos +
adecuaciones +
obras



Nivel 1
Arquitectónicos +
adecuaciones +
obras

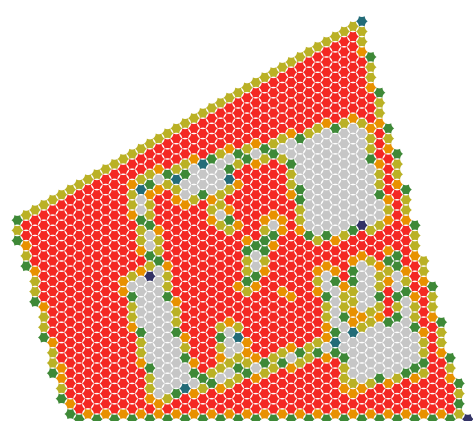
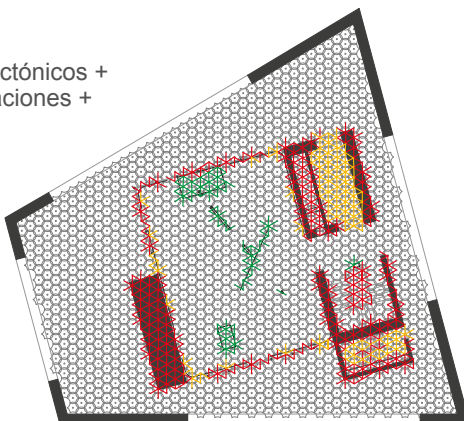
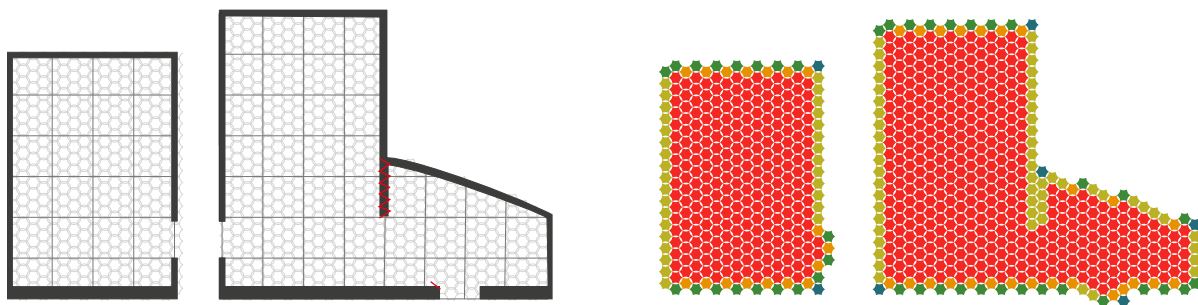
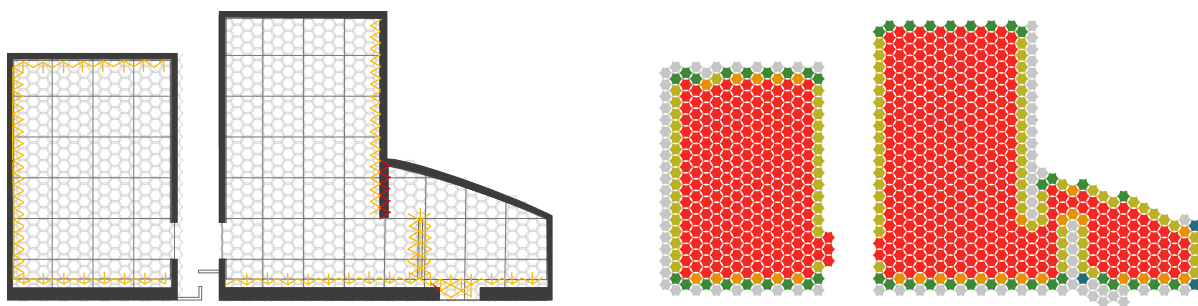


Figura 5.17. Cálculo de la valencia en primer grado considerando obstáculos derivados del montaje de las piezas de exhibición en el Museo Júmex. Elaboración propia.

Arquitectónicos:



Arquitectónicos + adecuaciones:



Arquitectónicos + adecuaciones + obras:

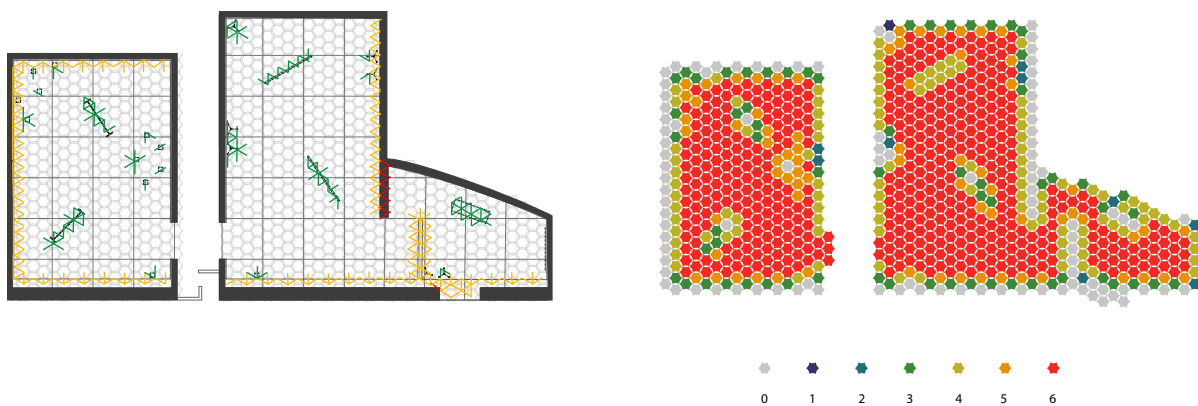


Figura 5.18. Representación de la gradual incorporación de obstáculos en las Salas 7 y 8 del MUAC. Elaboración propia.

La Figura 5.18 repite el mismo ejercicio para las Salas 7 y 8 del MUAC. En este diagrama se torna evidente la estructura aditiva de los componentes ambientales que se refería en el Capítulo 3. A menos que la adecuación implicara la apertura de un vano previamente inexistente o la adaptación de un puente (modificaciones que podrían considerarse reestructuraciones de naturaleza arquitectónica), Es claro que todas las intervenciones realizadas al espacio neto arquitectónico solo pueden aumentar el grado de restricción sobre las posibilidades de movimiento para los visitantes. Esto se ve reflejado en los diagramas como un incremento en el número de módulos con valencias intermedias (en tonos amarillos) y una disminución en el número de módulos con valencias más altas (en colores rojos).

Aunque la arquitectura no determina en su totalidad al espacio, sí define sus límites; límites dentro de los cuales deberán operar el resto de los actores que habitan y aprovechan cada habitación con objetivos diversos.

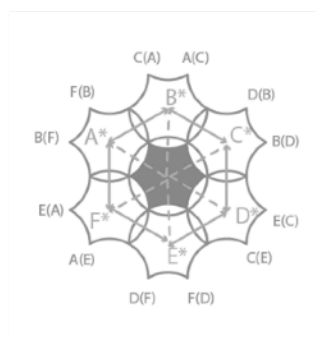
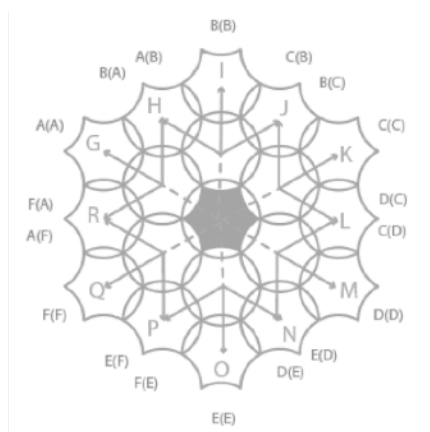
5.3.5 Valencias en segundo grado

Para resolver las relaciones de segundo grado, se aplicaron las funciones desarrolladas en el capítulo anterior y que se replican aquí en la Tabla 5.2. A continuación se detalla el procedimiento:

1. Se busca en las columnas 'A-F' el identificador de primer módulo que puede conducir al destino deseado.
2. Mediante la función XLOOKUP se utiliza este valor para buscar en la columna 'id' y se pide a la función que devuelva el identificador del módulo que corresponde al segundo movimiento necesario entre las columnas A-F.
3. Esta búsqueda se resuelve por medio de una fórmula anidada, de manera que el programa intenta de manera consecutiva cada una de las rutas posibles y se detiene tan pronto como obtiene un identificador válido. En teoría de grafos esto se conoce como un algoritmo DFS (*depth first search*)
4. En caso de que ninguna ruta permita llegar a la posición deseada se devuelve el resultado "N/A", aplicable nuevamente a los bordes del área de análisis.
5. Para los módulos A_2 a F_2 , se incluye un paso previo en el que se revisa si ya existe una relación de adyacencia en primer grado; en cuyo caso se copia el identificador sin necesidad de explorar otras rutas. Recordemos que para la cuenta de valencia en segundo grado se consideran conectados los módulos accesibles hasta en dos pasos, incluyendo los que son accesibles con un solo paso.

Tabla 5.2
Fórmulas para calcular la accesibilidad en hasta dos pasos

	Título de la variable	Fórmula # representa el mismo número de renglón donde se aloja la fórmula
<i>Hacia celdas contiguas</i>	A_2	=XLOOKUP(M#,E:E,Q:Q,(XLOOKUP(Q#,E:E,M:M,L#,0,1)),0,1)
	B_2	=XLOOKUP(N#,E:E,L:L,(XLOOKUP(L#,E:E,N:N,M#,0,1)),0,1)
	C_2	=XLOOKUP(O#,E:E,M:M,(XLOOKUP(M#,E:E,O:O,N#,0,1)),0,1)
	D_2	=XLOOKUP(Q#,E:E,O:O,(XLOOKUP(O#,E:E,Q:Q,P#,0,1)),0,1)
	E_2	=XLOOKUP(Q#,E:E,O:O,(XLOOKUP(O#,E:E,Q:Q,P#,0,1)),0,1)
	F_2	=XLOOKUP(P#,E:E,L:L,(XLOOKUP(L#,E:E,P:P,Q#,0,1)),0,1)
<i>Hacia celdas no contiguas</i>	G_2	=XLOOKUP(Q#,E:E,L:L,(XLOOKUP(L#,E:E,Q:Q,"N/A",0,1)),0,1)
	H_2	=XLOOKUP(L#,E:E,L:L,"N/A",0,1)
	I_2	=XLOOKUP(M#,E:E,L:L,(XLOOKUP(L#,E:E,M:M,"N/A",0,1)),0,1)
	J_2	=XLOOKUP(M#,E:E,M:M,"N/A",0,1)
	K_2	=XLOOKUP(N#,E:E,M:M,(XLOOKUP(M#,E:E,N:N,"N/A",0,1)),0,1)
	L_2	=XLOOKUP(N#,E:E,N:N,"N/A",0,1)
	M_2	=XLOOKUP(O#,E:E,N:N,(XLOOKUP(N#,E:E,O:O,"N/A",0,1)),0,1)
	N_2	=XLOOKUP(O#,E:E,O:O,"N/A",0,1)
	O_2	=XLOOKUP(O#,E:E,P:P,(XLOOKUP(P#,E:E,O:O,"N/A",0,1)),0,1)
	P_2	=XLOOKUP(P#,E:E,P:P,"N/A",0,1)
	Q_2	=XLOOKUP(Q#,E:E,P:P,(XLOOKUP(P#,E:E,Q:Q,"N/A",0,1)),0,1)
	R_2	=XLOOKUP(Q#,E:E,Q:Q,"N/A",0,1)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 5.19 muestra los resultados de la hoja de cálculo al buscar los módulos accesibles en dos pasos. Nuevamente, es posible corroborar los resultados del cálculo ubicando los módulos que aparecen alrededor de los hexágonos 219 a 224. Cuando se calcula la valencia en segundo grado no es necesario marcar obstáculos sobre las columnas A2-R2, puesto que estos caminos se calculan a partir de las relaciones de adyacencia directa entre celdas continuas. La base de datos devolverá en este caso, en lugar de un N/A, la etiqueta del obstáculo correspondiente.



id	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2	I2	J2	K2	L2	M2	N2	O2	P2	Q2	R2
220	N/A	N/A	246	247	221	194	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	273	274	275	248	222	195	169
221	194	220	247	248	222	195	169	N/A	N/A	N/A	246	274	275	276	249	223	196	170
222	195	221	248	249	223	196	170	169	194	220	247	275	276	BRK	250	224	197	171
223	196	222	249	250	224	197	171	170	195	221	248	276	BRK	BRK	251	225	198	172
224	197	223	250	251	225	198	172	171	196	222	249	BRK	BRK	BRK	252	226	199	173

Figura 5.19. Resultados de la hoja de cálculo para identificar a las celdas accesibles en dos pasos a partir de cada módulo de referencia. Elaboración propia

Las Figuras 5.20 y 5.21 muestran una comparación entre las gráficas resultantes de calcular la valencia en uno y dos grados, respectivamente, sobre el proyecto arquitectónico (sin exhibición) del Nivel 1 del Museo Júmex.

En el primer ejercicio, con valencias de un grado (0-6), los elementos arquitectónicos aparecían representados por cualquier valencia diferente de seis. En este caso, es difícil asociar valencias con regiones específicas del espacio, y la diferenciación que se logra es binaria (obstrucción-espacio disponible). Para el caso de las valencias de segundo grado (0-18), los elementos arquitectónicos, que suelen limitar el movimiento en 180° aparecen representados únicamente por valencias intermedias (7-12). Las valencias más bajas (1-6) muestran esquinas y otras zonas de movilidad particularmente reducida. En este segundo ejercicio, se genera un perímetro contiguo a los los bordes con valencias comparativamente más altas (13-17), mientras que solo las zonas intermedias presentan el valor máximo de 18. Este aumento de precisión provoca que predominen colores específicos en ciertas regiones, como los pasillos y las escaleras.

La Figura 5.22 muestra un ejercicio semejante para la Salas 7 y 8 del MUAC, en este caso considerando la instalación de las piezas de arte. Igual que los obstáculos arquitectónicos, las pantallas de la exhibición provocan un halo de hexágonos con valencias altas, pero que se distinguen claramente del valor máximo de 18. Dado el aumento de detalle, el análisis de valencias en segundo grado ofrece la oportunidad de asociar valores del análisis a regiones espaciales con características particulares. De tal manera, el resultado se acerca más al modelo objetivo descrito en el Capítulo 4 (Ver Figura 4.1, p.90)

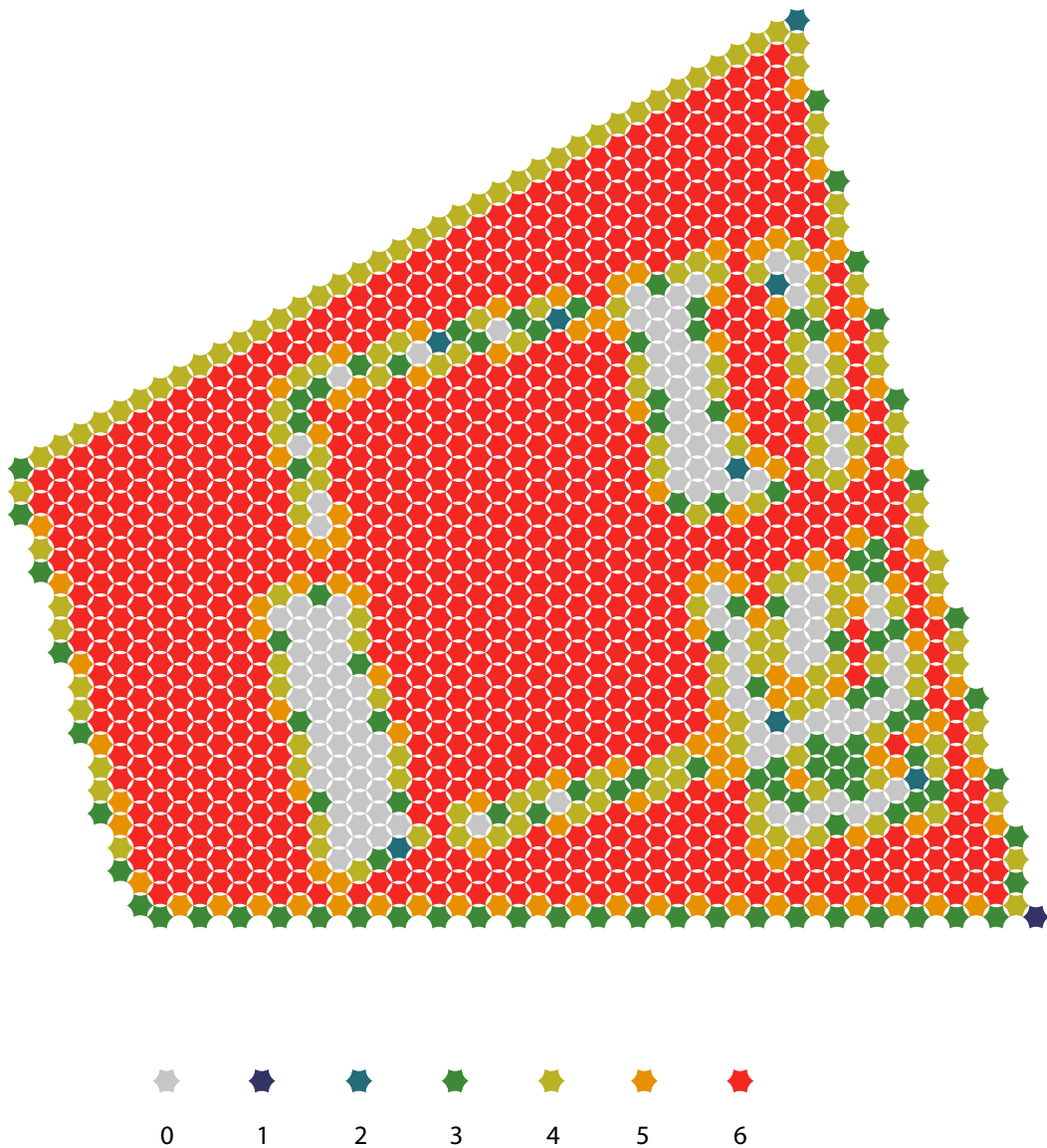


Figura 5.20. Representación de las valencias en primer grado para los elementos arquitectónicos que conforman el Nivel 1 del Museo Júmex. Elaboración propia.

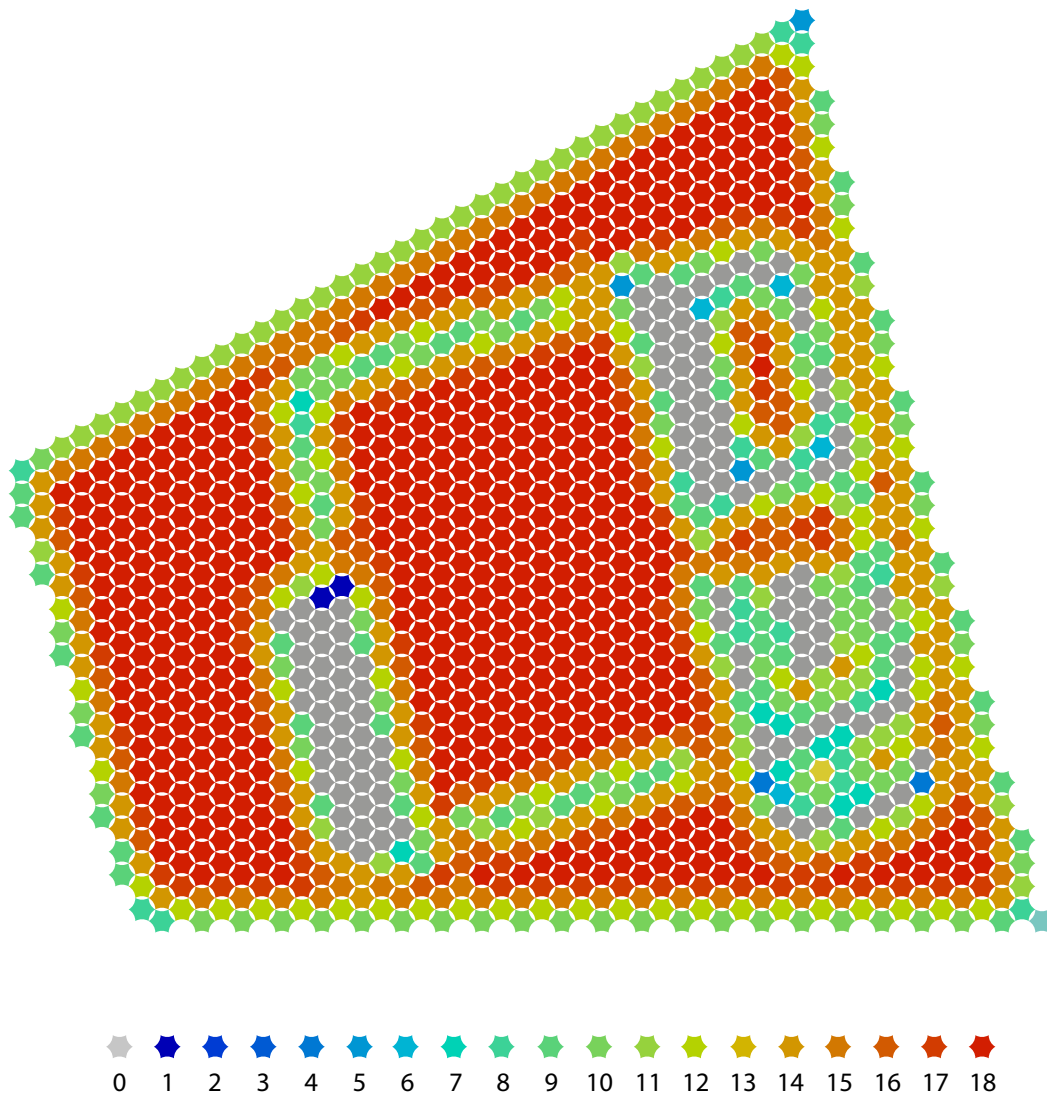


Figura 5.21. Representación de las valencias en segundo grado para los elementos arquitectónicos que conforman el Nivel 1 del Museo Júmex. Elaboración propia.

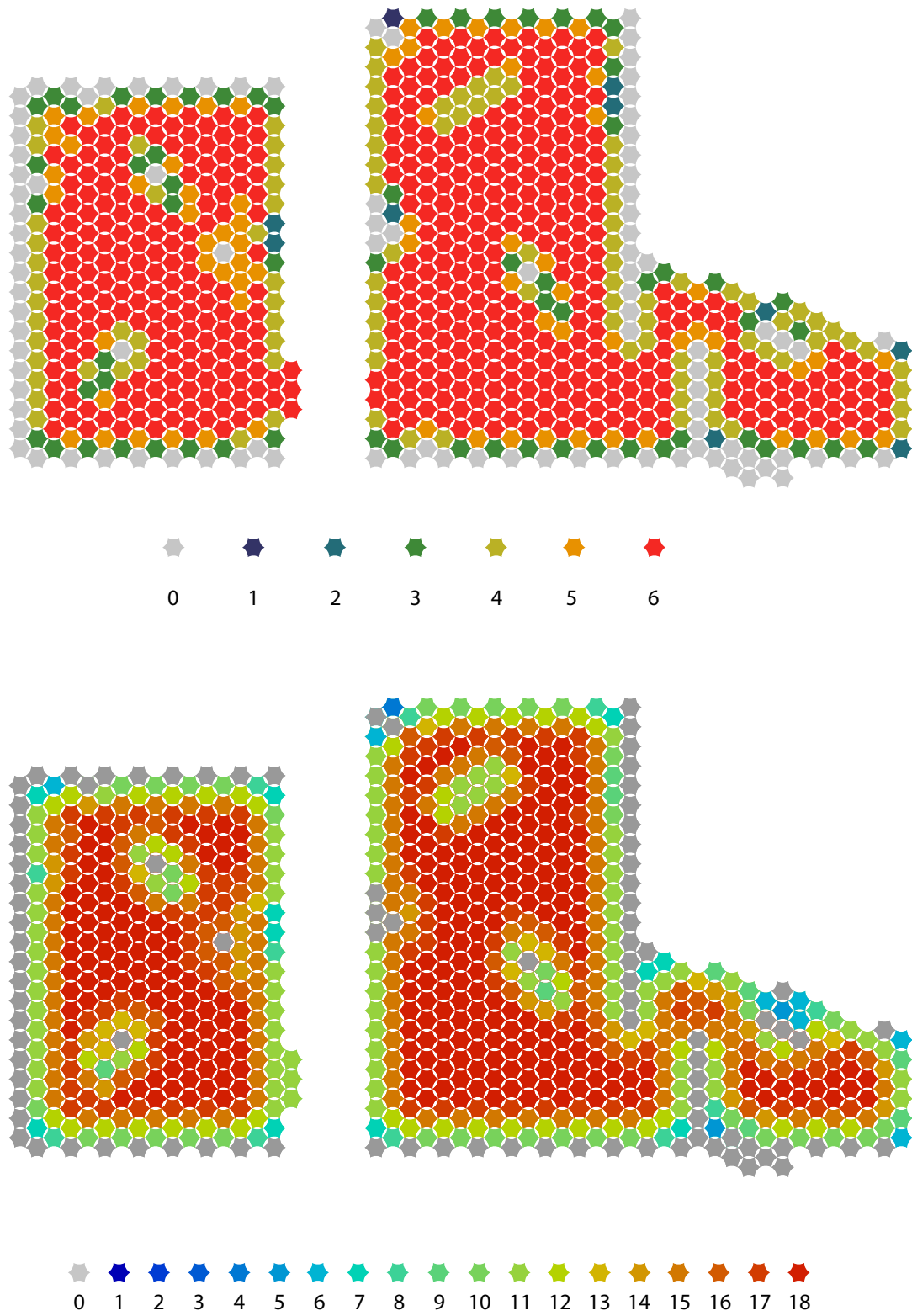


Figura 5.22. Representación del proceso de incorporación de obstáculos en las Salas 7 y 8 del MUAC. Elaboración propia.

5.4 Resultados del ejercicio

Las Tablas 5.3 y 5.4 resumen la distribución de las valencias en primer y segundo grado para cada una de las salas y para cada una de las tres etapas de construcción del espacio de exhibición. Puede observarse que en la primera fase del análisis no se incluyen módulos con valencia igual a cero; esto ocurre porque simplemente no se consideran como parte del área de análisis. Sin embargo, el área de análisis se mantuvo estable para las fases posteriores, de manera que los módulos con valencia cero permiten ilustrar el número de relaciones de adyacencia que quedaron interrumpidas a causa de los obstáculos. Éste número es equivalente para los cálculos en primer y segundo grado.

En las cinco salas estudiadas, se observa que la composición original del espacio arquitectónico privilegia áreas amplias, representadas por valencias máximas. En contrapartida, son pocos los módulos que presentan valencias reducidas, que pudieran asociarse a esquinas angulosas o pasillos estrechos.

En la instalación de las particiones y las piezas de arte se observa un fenómeno común a todas las salas de exhibición. El número de módulos con valencias máximas se reduce de manera significativa. La mayor parte de esa reducción corresponde precisamente al incremento de valencias iguales a cero, pero las valencias bajas se mantienen relativamente estables. De lo anterior se puede inferir que los obstáculos adicionales se instalan en áreas que eran originalmente amplias, podríamos decir quizá “innecesariamente amplias”, pero las zonas más estrechas en general no son perturbadas por las nuevas intervenciones.

Tabla 5.3 Frecuencia de valencias de primer grado por cada escenario de estudio

SALA	MUAC Sala 7			MUAC Sala 8			JUMEX Nivel 1			JUMEX Nivel 2			JUMEX Nivel 3		
Etapa	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º
0	0	34	37	0	41	48	0	82	104	0	75	97	0	191	291
1	1	1	5	0	2	6	8	12	12	7	9	15	4	9	11
2	3	3	4	4	2	8	13	9	11	13	10	19	13	15	19
3	17	17	23	28	28	35	97	88	98	97	85	103	79	86	89
4	35	33	37	53	61	70	173	169	180	157	144	160	127	153	175
5	14	12	34	26	27	37	124	104	126	111	101	166	89	98	122
6	245	215	175	395	345	302	836	787	720	868	829	693	984	744	589
TOTAL	315	315	315	506	506	506	1251	1251	1251	1253	1253	1253	1296	1296	1296

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.4 Frecuencia de valencias de segundo grado por cada escenario de estudio

SALA	MUAC Sala 7			MUAC Sala 8			JUMEX Nivel 1			JUMEX Nivel 2			JUMEX Nivel 3		
Etapa	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º
0	0	34	37	0	41	47	0	82	104	0	74	96	0	191	291
1	0	0	0	0	1	1	0	2	2	0	2	2	0	2	2
2	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	2
3	1	1	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
4	0	1	2	0	1	1	3	3	3	3	2	2	3	3	4
5	1	0	2	1	1	5	4	3	4	5	3	8	5	8	9
6	1	2	4	2	3	8	15	8	8	16	8	17	14	6	5
7	2	3	2	4	4	9	7	6	8	5	4	11	6	11	15
8	3	3	2	6	6	7	17	18	21	23	17	17	18	21	23
9	1	1	10	5	5	14	58	54	57	54	53	50	43	53	56
10	16	13	15	24	23	24	79	80	87	80	77	90	62	79	80
11	32	29	26	41	43	41	63	60	69	53	47	63	55	54	62
12	14	15	15	25	30	30	79	85	84	75	79	94	56	75	86
13	0	1	9	7	6	16	82	81	85	76	77	76	61	74	92
14	2	0	20	5	4	16	68	50	64	55	41	59	40	44	54
15	43	40	37	59	66	63	116	107	115	105	96	114	85	83	91
16	0	0	14	8	8	20	75	59	72	60	51	124	34	43	66
17	12	12	31	24	25	37	89	73	100	87	79	134	61	68	79
18	186	159	86	295	239	166	495	478	366	555	542	294	753	480	279
TOTAL	315	315	315	506	506	506	1251	1251	1251	1252	1252	1252	1296	1296	1296

Fuente: Elaboración propia

Esto podría significar que en la adecuación de las salas, los directores de curaduría toman decisiones con base en los mismos criterios (o requerimientos) de circulación que rigieron al espacio arquitectónico. Aunque podía haberse pensado que los espacios más amplios y centrales ofrecían buenas ofertas de circulación, los resultados dejan ver que sus atributos incentivaban más bien acciones de ocupación por parte de los artículos de exhibición.

Los módulos que ya desde el proyecto arquitectónico presentaban valencias medias por su cercanía a elementos de borde, conservan dicho atributo y fungen en la distribución final como áreas de circulación. Por supuesto, existen excepciones a esta regla, donde los objetos se organizan a manera de penínsulas. Aún en este caso, los módulos de valencias medias que se pierden en la cercanía del muro se recuperan después en el contorno de la instalación artística. Pareciera pues, que en salas de museo el tránsito requiere de valencias medias y que así lo procuran quienes diseñan las exhibiciones para dar cierta estructura a los recorridos de quienes las visitan.

Por otro lado, las valencias mínimas del proyecto arquitectónico, que aparecen en las áreas de circulación y acceso a las salas no ofrecen espacio suficiente para que los encargados de montar la exposición realicen alteraciones significativas sobre las dinámicas de circulación que planteaba el espacio vacío. De tal manera, estos cuellos de botella se convierten en constantes del entorno que habrán de ser incorporados sin mucha variedad en la mayoría de las exhibiciones.

La Figura 5.23 muestra la representación de tres elementos de borde. La distribución de las valencias en el extremo del área de estudio variará dependiendo del ángulo de trazo del muro, y también de la disposición de la malla de puntos de referencia con que se haga el análisis. Sin embargo, es posible observar que la valencia promedio para cualquier elemento de borde lineal es de cuatro puntos, valor que resulta también de hacer una alineación perfecta. Pensamos que este resultado verifica que no es necesario que la malla se alinee de manera especial a la forma del espacio estudiado.

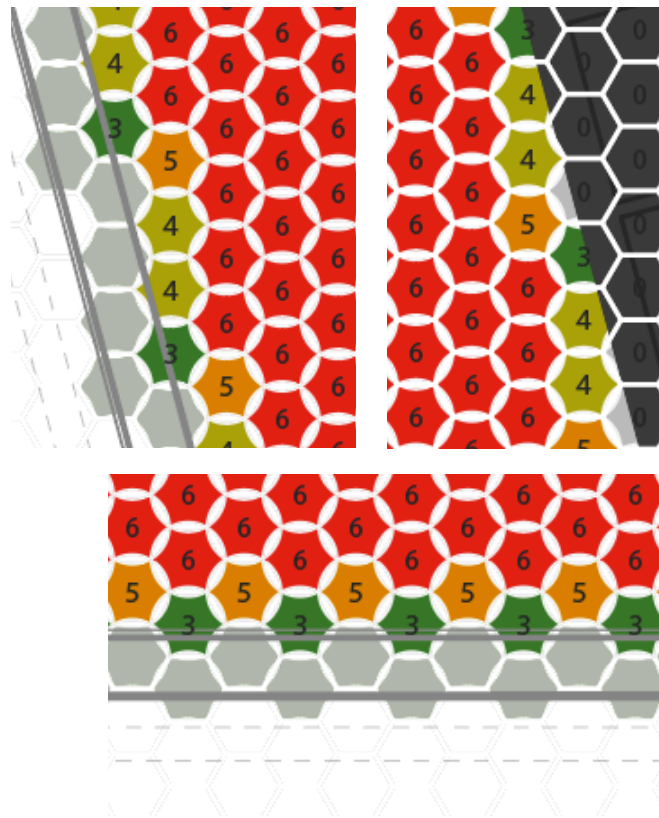


Figura 5.23. Demostración de la valencia promedio de cuatro para elementos de borde lineales. Elaboración propia.

Conclusiones

El problema que dio origen a este trabajo de investigación era que dentro de las herramientas de diseño arquitectónico referidas en nuestros programas de estudio parecía no incluirse información que explicara cómo era que los individuos se desenvolvían en los espacios que los arquitectos proponemos. Mi intuición era que los atributos que asignamos a las habitaciones, particularmente en su composición geométrica, podían generar restricciones en la manera de habitarla y amueblarla, promoviendo patrones de estadia y desplazamiento que ulteriormente afectaran también la experiencia perceptual del espacio.

La relación entre geometría espacial y conducta ha sido estudiada por el campo de la sintaxis espacial. De tal manera, se decidió investigar si las metodologías de análisis empleadas de manera regular eran suficientes para establecer una correspondencia entre las características físicas de una habitación y los patrones de movimiento que emergen en ella. Para ello, se revisó la construcción teórica de cada uno de los modelos espaciales como una aplicación de la teoría de grafos. Después, se valoró el sustento teórico

de las relaciones expresadas por estos modelos a partir de la teoría de las ofertas ambientales.

Se llegó a la conclusión de que ninguna de las metodologías revisadas era adecuada para explicar los patrones de movimiento dentro de una habitación por una o varias de las siguientes razones:

- Porque la unidad mínima del modelo de análisis está determinada de tal manera que no permite subdividir a la habitación en porciones o regiones diferenciadas. En tal caso, solo es posible discutir la actividad de la habitación en función del resto del edificio y no de manera particular.
- Debido a que los métodos de observación empleados se limitan a describir la densidad de ocupación de cada región espacial y documentar ejemplos de acciones y rutas aisladas. Al respecto vale la pena señalar que ya se encuentran en fase de desarrollo algunas tecnologías que permiten registrar todos los flujos con suficiente precisión y responsabilidad ética.
- Porque las relaciones estructurales del modelo no representaban ofertas ambientales que pudieran relacionarse directamente a acciones de movimiento. Tampoco estaban modelados a partir una relación teórica de dependencia entre las variables estudiadas y las acciones de movimiento descritas. De tal manera, las relaciones las variables físicas del espacio y las conductas observadas solo podían sustentarse en razones estadísticas.

A partir de estas observaciones, se desarrolló la propuesta de una nuevo tipo de análisis orientado a describir la configuración de ofertas ambientales de movimiento dentro de una habitación. Tanto el modelo de representación espacial como la metodología desarrollada para su análisis, aplicaron una lógica matemática semejante a la utilizada para el desarrollo de las metodologías existentes.

Al aplicar la metodología en el análisis de un caso práctico se demostró la capacidad del modelo para subdividir los espacios interiores en dos escalas distintas. En la primera escala, el espacio se expresa como módulos individuales de idénticas dimensiones que aproximan el número de posiciones mutuamente excluyentes que el sujeto puede adoptar. A cada uno de estos módulos, la metodología permite asignar una categoría que describe la libertad de movimiento que tiene el sujeto en dicha posición. En la segunda escala, los módulos contiguos que comparten una misma categoría de libertad de movimiento pueden integrarse como regiones dentro de la habitación. Tales regiones ilustran una restricción a la movilidad asociada con la cercanía a obstáculos de distinta naturaleza. Como resultado, la libertad del movimiento puede asociarse con la distribución de elementos arquitectónicos y no arquitectónicos del ambiente.

A continuación, se enuncian algunos de los hallazgos personales y desarrollos conceptuales que surgieron a lo largo de la investigación y que propongo puedan incorporarse a la discusión académica sobre los alcances y limitaciones del diseño arquitectónico:

- En el primer capítulo se ofrece una propuesta de definición para el concepto de diseño arquitectónico, sustentado en las reflexiones de Bellucia sobre la disciplina y oficio del diseñador.
- También en el primer capítulo se expone un modelo sobre la composición del espacio arquitectónico a partir de tres ámbitos de realidad interdependientes, construido a partir del modelo triádico de Cortes Sierra y complementado con conceptos provenientes de la psicología ambiental y la teoría de la sintaxis espacial.
- En el tercer capítulo se desarrolla la idea del ambiente arquitectónico como una estructura ordenada de elementos arquitectónicos, mobiliarios y circunstanciales que se suman para configurar las ofertas de una habitación.

Dentro del campo del análisis espacial, podemos enunciar las dos principales aportaciones de este trabajo. La primera aportación es el esbozo de una tipificación para las ofertas de movimiento que considera los procesos cognitivos de navegación descritos por otros autores. Esta tipificación puede servir como punto de partida para evaluar la definición de los diferentes modelos de análisis y distinguir el tipo de conducta que podría ser asociada con una variable espacial en particular. La segunda y principal aportación es la propuesta de un modelo de representación espacial a escala local junto con el desarrollo de una metodología de análisis que permita describir regiones espaciales con ofertas de movimiento diferenciadas.

Una de las principales lecciones durante la socialización del proyecto fue que la construcción de modelos analíticos para el estudio de la arquitectura alienta la expectativa de resultados predictivos y deterministas. Esto, por un lado, entusiasma a quienes confían en la eficacia del método científico como medio para controlar las relaciones de causa-efecto. Por otro lado, escandaliza y recibe el completo escepticismo de quienes contemplan un mundo demasiado complejo para ser acotado a reglas simples. En mi opinión, cada una de estas posturas denota cierto desconocimiento sobre la construcción y capacidad descriptiva de los modelos. Se espera que este proyecto sirva para incrementar la congruencia entre la base teórica y metodológica de los modelos de análisis espacial que nos permita reconocerlos como representaciones lógicas del mundo natural, más que como abstracciones matemáticas desconectadas de la realidad. Esta distinción es fundamental para el aprovechamiento que como diseñadores podamos hacer de estos modelos de análisis.

En suma, el proyecto de investigación permitió cumplir con los objetivos personales que había plantado en el inicio. La literatura estudiada y los ejercicios prácticos fueron una exploración profunda del campo del análisis espacial y sus posibilidades. No solo se exploraron las aplicaciones disponibles, sino que la investigación me permitió entender y cuestionar las

premisas sobre las que se fundamenta el conocimiento de dicho campo. De lo anterior concluyo que existen más potencialidades que limitaciones para desarrollar investigación dentro de este campo en nuestro país.

Además, el proyecto dio lugar a que se plantearan más dudas de las que era posible resolver como parte de esta investigación. A continuación, se ofrece un listado de las preguntas que quedan abiertas, y de las primeras pistas halladas para iniciar su indagación.

- En el tercer capítulo se ofrecen algunos argumentos para utilizar una retícula hexagonal en el análisis de ofertas de ocupación. Para nuestros propósitos el modelo hexagonal resultó operativo. Por eso, considero que sería oportuno insistir en un análisis a profundidad que abordara las ventajas y desventajas de la retícula hexagonal frente a la ortogonal tanto para este como para otros modelos de análisis espacial.

- Una de las razones por las cuales se eligió trabajar los casos de estudio sobre museos, fue la constante transformación de los espacios para atender a públicos semejantes y que las exhibiciones que se montan en un espacio pueden ser después trasladadas a espacios diferentes con públicos nuevos. Estas dos condiciones dan lugar a repetir el estudio con una nueva exhibición o en una nueva sede. Después de varias iteraciones, tal vez sería posible conocer cuál es el verdadero peso que tiene el espacio arquitectónico sobre la configuración final del entorno habitable y sobre los patrones de ocupación que allí se desarrollan.

- Además de los casos de estudio abordados en esta investigación, sería posible aplicar la misma metodología a otro tipo de museos y a otros géneros arquitectónicos. Este análisis transversal podría ayudar a reconocer atributos de la configuración espacial a nivel local que son preferidos para realizar diferentes actividades.

Referencias

- C.2 Abajo C., E. y Delgado, J. M. (2018). Una propuesta del área de Matemáticas para el Taller de Arquitectura: Percepción del espacio mediante parámetros asociados a la visibilidad. *Modelling in Science Education and Learning* 11(2), 39-57. <https://riunet.upv.es/handle/10251/106985>
- C.3
- C.5 Arriaga, A. (2011). Desarrollo del rol educativo del museo: narrativas y tendencias educativas. *Revista Digital do Laboratório de Artes Visuais*, 7. <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/21270>
- C.1 Bellucia, R. (2007). El diseño gráfico y su enseñanza: ilusiones y desengaños. Buenos Aires: Paidós.
- Beltrán, Y. (2011). Metodología del diseño arquitectónico. *Revista Amorfa de arquitectura*. <https://docplayer.es/5004995-Metodologia-del-diseno-arquitectonico-yan-beltran-2011.html>
- C.2 Behbahani, P.A., Gu, N., y Ostwald, M.J. (2014). Comparing the properties of different Space Syntax Techniques for Analysing Interiors. *Architectural Research through to Practice: 48th International Conference of the Architectural Science Association 2014*, 683–694. https://anzasca.net/wp-content/uploads/2014/12/14_54_81.pdf
- C.2 Benedikt, M. (1979). To Take Hold of Space: Isovists and Isovist Fields. *Environment and Planning B Planning and Design* 6(1):47-65 https://www.researchgate.net/publication/23541752_To_Take_Hold_of_Space_Isovists_and_Isovist_Fields
- C.5 Bitgood, S. (1992). The Anatomy of An Exhibit. *Visitor Behavior*, VII(4), 4-15. https://www.informalscience.org/sites/default/files/VSA-a0a1v7-a_5730.pdf
- C.5 Bitgood, S. (1993). Social influences on the Visitor Museum Experience. *Visitor Behavior*, VIII(3), 4-5. https://www.researchgate.net/publication/254930510_Social_Influences_on_the_Visitor_Museum_Experience/link/0deec53b4575fb01be000000/download
- C.5 Bitgood, S. (1994). Problems in visitor orientation and circulation. In *The Educational Role of the Museum*, edited by E. Hooper-Greenhill. London: Routledge, 155-170. https://www.informalscience.org/sites/default/files/VSA-a0a1o7-a_5730.pdf
- C.5 Bitgood, S. (1995a). Visitor Circulation: Is There Really A Right-Turn Bias?. *Visitor Behavior*, X(1), 5. https://www.informalscience.org/sites/default/files/VSA-a0a1q6-a_5730.pdf
- C.5

- C.3 Chemero, A. (2003). An Outline of a Theory of Affordances. *Ecological Psychology*, 15(2), 181–195. <https://okazaki3.webs.com/Artigos/23.Chemero2003.pdf>
- C.1 Choi, Y. (1997). The morphology of exploration and encounter in museum layouts. *Proceedings, Space Syntax First International Symposium*, (1) 16.1-16.10.
- C.2 <https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS1/SpSx%201st%20Symposium%201997%20-2003%20pdf/1st%20Symposium%20Vol%201%20pdf/4%20-%20Complex%20buildings/16%20Choi%20300.pdf>
- C.5
- C.1 Cortés S., M. (2013). Las edades del espacio. Desarrollo de la concepción del espacio-tiempo físico y social en arquitectura. Tesis Doctoral [Dir. Josep Muntañola, Codir. Francisco Biurrun]. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. <https://www.tdx.cat/handle/10803/129624>
- C.5 De la Torre, G. (2006). “El museo universitario arte contemporáneo: Un proyecto para el siglo XXI”. *University Museums*, 303-307. <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/9271/torre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- C.2 Duives, D.C., Daamen, W., Hoogendoorn, S.P. (2013). State-of-the-art crowd motion simulation models. *Transportation Research Part C*, 37, 193-209. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X13000351?via%3Dihub>
- C.2 Dursun, P., Kozikoglu, N., Yazar, T., Erden, M. (2022). Designerly Way of Investigating Space Syntax Software. [Conferencia] *Proceedings of the 13th Space Syntax Symposium*. <https://www.hvl.no/globalassets/hvl-internet/arrangement/2022/13sss/543cebi.pdf>
- C.5 Fayas, A, Nisar, H., Sutlan, A. (2012). Study on Hexagonal Grid in Image Processing. Proceedings of the 4th International Conference on Digital Image Processing ('ICDIP 2012'). <https://www.aljahdali.net/conferences/2012%20z%20Study%20on%20Hexagonal%20Grid%20in%20Image%20Processing.pdf>
- C.2 Fouad, A.T.Z. (2021). *Implications of the Spatial Design of School Buildings on Student Interactions and Student Self-Directed Learning Activities*. Tesis doctoral, UCL. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10136288/>
- C.3 García-Moreno, D. (2011). “Capítulo 2: Diseño de sistemas de orientación espacial: wayfinding” en *Accesibilidad Universal y Diseño para Todos. Arquitectura y Urbanismo*. Madrid, Fundación ONCE. <https://biblioteca.fundaciononce.es/publicaciones/colecciones-propias/coleccion-accesibilidad/accesibilidad-universal-y-diseno-para>

- C.3 Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Houghton, Mifflin and Company.
- C.1 Hessen, J. (2014). *Teoría del conocimiento*. Editorial Losada.
- I. Hillier, B., Leaman, A., Stansall, P., Bedford M. (1976). Space Syntax. *Environment and Planning B*, 3, 147-185. https://www.researchgate.net/publication/325905184_hillier-et-al-1976_Space_Syntax
- I. Hillier, B. (2007). *Space is the machine: a configurational theory of architecture*. Reino Unido: Space Syntax. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/3881/1/SITM.pdf>
- C.1 Hillier, B. y Hanson, J. (1984). *The social logic of space*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- C.2
- C.4
- C.5 Hillier, B., Major, M.D., Desyllas, J., Karimi, K., Campos, B. y Stonor, T. (1997) . "Tate Gallery Millbank: A study of the existing layout and new masterplan proposal". Londres, The Bartlett School of Graduate Studies. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/932/1/hillier-et-al-1996a_TateGallery.pdf
- C.1 Holahan, C. (2012). *Psicología ambiental: un enfoque general*. México: Limusa.
- I. Jordán L., C. (2011). *Teoría básica de grafos y análisis de 4 conocidos problemas*. Universitat Politècnica de València (UPV). [YouTube]. <https://www.youtube.com/playlist?list=PL5098BF5A01819B3B>
- C.2
- C.5 Kaynar, I. (2005). Visibility, movement paths and preferences in open plan museums: An observational and descriptive study of the Ann Arbor Hands-on Museum. *Proceedings, 5th International Space Syntax Symposium, 1317*, 189-203. http://kaynar-rohloff.com/papers/kaynar_SpaceSyntax05.pdf
- C.2 Kaynar, I., Psarra, S., Wineman, J. (2009). Experiencing Museum Gallery Layouts through Local and Global Visibility Properties in Morphology: an inquiry on the YCBA, the MoMA and the HMA. *Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium*, 094:1-094:14 http://www.sss7.org/Proceedings/04%20Building%20Morphology%20and%20Emergent%20Performativity/094_Rohloff_Psarra_Wineman.pdf
- C.3
- C.5
- C.2 Kemloh A. U., Chraibi M., Zhang J., Lämmel G. (2015). JuPedSim: an open framework for simulating and analyzing the dynamics of pedestrians. *3rd Conference of Transportation Research Group of India (3rd CTRG)*. [Conferencia]. <https://www.researchgate.net/publication/289377829>

- C.1 Koch, D. (2012). Isovists revisited. Egocentric space, allocentric space, and the logic of the Mannequin. *Proceedings: 8th International Space Syntax Symposium*, 8144.1-8144.23. <http://sss8.cl/8144.pdf>
- C.3
- C.2 Koutsolampros, P.; Sailer, K.; Varoudis, T. (2018) Partitioning indoor space using visibility graphs: Investigating user behaviour in office spaces. *Proceedings of 4th International Symposium Formal Methods in Architecture*. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10048715/1/partitioning_visibility_graphs_final.pdf
- C.1 Lins, E. (1998). ¿Hegel y el fin de la arquitectura?. *DC PAPERS, revista de crítica y teoría de la arquitectura*, 1, 35-43. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=3090320>
- C.3 Losada, F. (2001). El espacio vivido: una aproximación semiótica. *Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Jujuy*, 17, 271-294. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8505259>
- C.1 Martín G., J. (2011). Sobre la acción y efecto del verbo. *Revista de Lexicografía*, XVII, 97-114. <https://core.ac.uk/download/61906941.pdf>
- C.4 Martínez S., M.J. (2015). *Cartografías dinámicas: cuerpo y movimiento en el espacio arquitectónico*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/40343/1/MARIA_JOSE_MARTINEZ_SANCHEZ.pdf
- C.2 McElhinney S. (2020). The Isovist_App: A Basic User Guide, version 1.6. https://isovists.org/user-guide/1-1-what-is-the-isovist_app/
- C.2 Menéndez V., A. (1998). Una breve introducción a la teoría de grafos. *SUMA* 28. *Universidad de Oviedo*, 11-26. <https://redined.mecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/13526/011-026.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- C.1 Montello, D.R. (2007). The contribution of Space Syntax to a comprehensive theory of environmental psychology. *Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium*, iv-01-iv12. http://spacesyntaxistanbul.itu.edu.tr/papers/invitedpapers/daniel_montello.pdf
- C.2 Ostwald, M. J. (2011). The Mathematics of Spatial Configuration: Revisiting, Revising and Critiquing Justified Plan Graph Theory. *Nexus Network Journal*, 13 (2), 445-470. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00004-011-0075-3>
- C.2 Ostwald, M. J., Dawes M. J. (2018). *The Mathematics of the Modernist Villa: Architectural Analysis Using Space Syntax and Isovists*. Birkhäuser. ISBN 2512-1561

- C.2 O'Neill, E., Kostakos, V., Kindberg, T., Fatah gen. Schieck, A., Penn, A., Fraser, D., Jones, T. (2006). Instrumenting the City: Developing Methods for Observing and Understanding the Digital Cityscape. *8th International Conference, UbiComp*, 315-332. <http://www.cs.bath.ac.uk/pervasive/publications/ubicomp06.pdf>
- C.2 Peponis, J., Dalton R.C., Wineman, D., Dalton N.S. (2003). Path, theme, narrative in open plan exhibition settings. *Proceedings, 4th International Space Syntax Symposium*, 29.1-29.20. https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS4/fullpapers/29_Peponis.pdf
- C.5
- C.2 Peponis, J., Dalton R.C., Wineman, D., Dalton N.S. (2004). Measuring the effects of layout upon visitor's spatial behavior in open plan exhibition settings. *Environment and Planning B: Planning and design*, 31, 453-473. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1096/1/MELuVSB.pdf.pdf>
- C.5
- I. Pina L., R. (2004). *El proyecto de arquitectura: El rigor científico como instrumento poético*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/1789/1/RAFAEL_PINA_LUPIANEZ.pdf
- C2 Pajek.(1996). Mrvar, A. y Batagek, V. University of Ljubljana. <http://mrvar.fdv.uni-lj.si/pajek>
- C.2 Rashed, G., Suzuki, R., Yonezawa, T., Lam, A., Kobayashi, Y., Kuno, Y. (2017). Robustly Tracking People with LIDARs in a Crowded Museum for Behavioral Analysis. *IEICE Trans.fundamentals*, E100.A(11), 2458-2469. https://www.researchgate.net/publication/320748583_Robustly_Tracking_People_with_LIDARs_in_a_Crowded_Museum_for_Behavioral_Analysis
- C.1 Rigotti, A.M. (2009). Carl Bötticher y la ciencia de la tectónica. *Teorizaciones sobre Espacio, Estructura y Envolverte, Cuaderno del Laboratorio de Historia Urbana* 4, 1-6. <https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/2636/CLHU%204.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- C.3 Robles C. L.J.(2016). La experiencia sensible del espacio doméstico: la función semiótica del habitar. *El espacio interior y el usuario: Teoría y diseño del interiorismo*, [Ed.Fausto Enrique Aguirre Escárcega], 59-72. <https://elibros.uacj.mx/omp/index.php/publicaciones/catalog/view/71/66/248-1>
- C.1 Stanek, L. (2012). Architecture as Space, Again?: Notes on the 'Spatial Turn'. *Le Journal Speciale'Z*, 4, 48-53. <http://www.henrilefebvre.org/hlt/fls/Stanek,%20Architecture%20as%20Space,%20Again.pdf>

- C.4 Stavroulaki, G. y Peponis, J. (2003). The spatial construction of seeing at Castelvecchio. *Proceedings, 4th International Space Syntax Symposium*, 66.1-66.14. <https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS4/fullpapers/66Stavroulaki-Peponis.pdf>
- C.3 Stavroulaki, G. y Peponis, J. (2005). Seen in a different light: Icons in byzantine museums and churches. *Proceedings, 5th International Space Syntax Symposium*, 251-263. https://www.researchgate.net/publication/313060316_Seen_in_a_different_light_Icons_in_Byzantine_museums_and_churches
- C.2 Turner, A., Doxa, M., O'Sullivan, D., Penn, A. (2001). From isovists to visibility graphs: A methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B*, 28, 103-121. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/160/1/turner-doxa-osullivan-penn-2001.pdf>
- C.5 Tzortzi, K. (2004). Building and exhibition layout: Sainsbury Wing compared with Castelvecchio. *Design*, 8(2): 128-140. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1032/1/Kali.pdf>
- C.5 Tzortzi, K. (2007a). Museum building design and exhibition layout: patterns of interaction. *Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium*, 072.01-072.16. <http://spacesyntaxistanbul.itu.edu.tr/papers/longpapers/072%20-%20Tzortzi.pdf>
- C.5 Tzortzi, K. (2007b). The interaction between building layout and display layout in museums. Tesis de doctorado. University of London. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/4979/1/4979.pdf>
- C.1 Üngür, E. (2011). Space: The undefinable space of architecture. *Conferencia en la Université Libre de Bruxelles*. https://www.researchgate.net/publication/321155578_Space_The_undefinable_space_of_architecture
- I. Urban Nous. (2018). *Space Syntax: Past, present and future* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=85BmaTMPQSA>
- C.2 Vaughan, L. (2001). *Observation Procedures Manual*. UCL, Space Syntax. <https://dokumen.tips/documents/space-syntax-observation-manual.html>
- C.5 Varoudis, T. (2012). Augmented Visibility: a visibility graph analysis for hybrid architectural spaces. *Proceedings of the 30th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*, 2, 391-400. http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2012_199.content.pdf

- C.5 Yoshimura, Y., Sinatra, R., Krebs, A., Ratti, C. (2018). Analysis of visitors' mobility patterns through random walk in the Louvre Museum. <https://core.ac.uk/download/pdf/232190562.pdf>
- C.5 Zamani, P. y Peponis, J. (2008). Radical discontinuity or variations on a theme?: The recent history of the High Museum of Art. *Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium*, 71.1-71-14. <http://spacesyntaxistanbul.itu.edu.tr/papers/longpapers/071%20-%20Zamani%20Peponis.pdf>
- C.5 Zamani, P. (2009). Architecture as curatorial device: Space, views and narrative in the galleries of the High Museum of Art. *Proceedings, 7th International Space Syntax Symposium*, 134.1-134-12. http://www.sss7.org/Proceedings/04%20Building%20Morphology%20and%20Emergent%20Performativity/134_Zamani.pdf
- I. Zevi B. (1974). *Architecture as space: How to look at architecture*, [Traducción Gendel, M.], Nueva York: Horizon.

APÉNDICE



Levantamiento fotográfico de los casos de estudio

Júmex Nivel 3: Colección Jumex. Temperatura ambiente

G1. **Salla Tykkä**, *Lasso*, 2000

G2. **Ale de la Puente**, *Ventana*, 2004

G3. **Thomas Demand**, *Flare*, 2002

G4. **Olafur Eliasson**, *Double double hung window*, 1999

G5. **George Stoll**, *Untitled (9 vasos en un estante de 22 1/2 x 9 pulgadas) #5*, 2007

G6. **Richard Misrach**, *Comfort Stations, Edwards Air Force Base, California*, 1983

G7a. **Luisa Lambri**, *Untitled (Barragan House, #13)*, 2005

G7b. **Luisa Lambri**, *Untitled (Barragan House, #31)*, 2005

G7c. **Luisa Lambri**, *Untitled (Barragan House, #32)*, 2005

G7d. **Luisa Lambri**, *Untitled (Barragan House, #35)*, 2005

G8. **Ann Verónica Janssens**, *Yellow & Sky Blue*, 2005

G9. **Louise Lawler**, *Bulbs*, 2005-2006

G10. **Anthony Hernández**, *Pictures for Rome #19*, 2001

G11. **Juan Fernando Herrán**, *Campo G (de la serie Papaver Somniferum)*, 1999

G12a. **Elger Esser**, *Ruaud, France*, 1998

G12b. **Gregory Crewdson**, *Untitled*, 2002

G13. **Cándida Höfer**, *Bank Nürnberg*, 1999

G14. **Esko Männikkö**, *Kuivaniemi*, 1994

G15. **Alicja Kwade**, *Gegenwartsdauer*, 2013

G16. **Gabriel Kuri**, *Untitled (Fridge)*, 2003

G17. **Cyprien Gaillard**, *Real Remnants of Fictive Wars II*, 2004

G18. **John McCracken**, *Untitled No. 1*, 1970

G19. **Jim Hodges**, *Untitled (from Pink)*, 2000

G20. **Franz West**, *Untitled*, ca. 1979-1980

G21. **Mark Dion**, *L'Ichthyosaure*, 2003

G22. **Do Ho Suh**, *Fuse Boxes, London Studio, New York Home, Studio & Corridor*, 2019

G23. **Andreas Gursky**, *Gasherd*, 1980

G24. **Gabriel de la Mora**, *Introduction*, 2009

G25. **Thiago Rocha Pitta**, *The Secret Sharer*, 2008

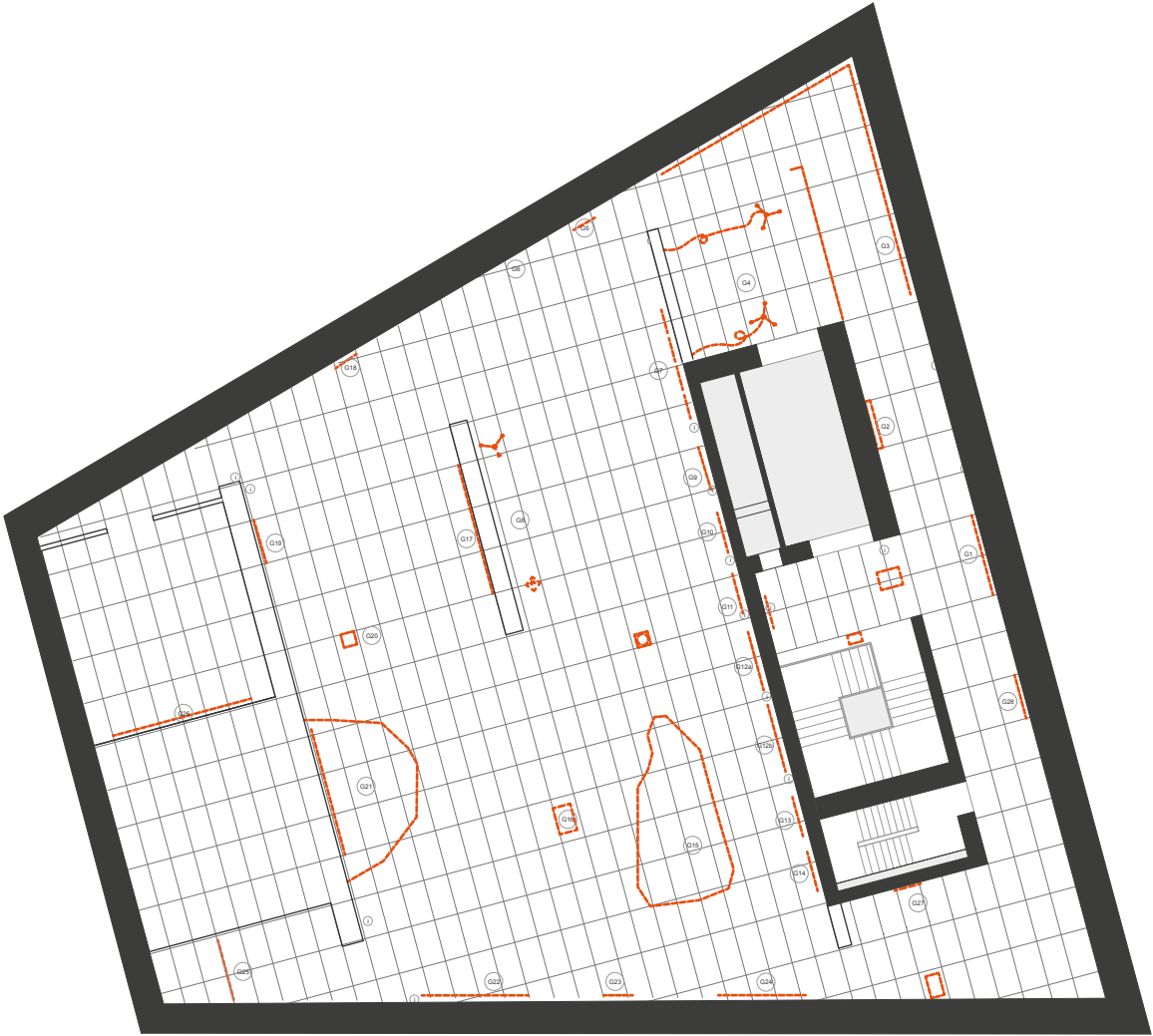
G26. **Francs Alÿs**, *Tornado*, 2000-2010

G27. **Tacita Dean**, *The Green Ray*, 2001

G28. **Bas Jan Ader**, *Broken Fall (organic) Amsterdamse Bos, Holland*, 1971-1994

G29. **Kueng Caputo**, *Lovis Caputo y Sarah Kueng, Sand Chair*, 2011

(Croquis y fotografías propias)















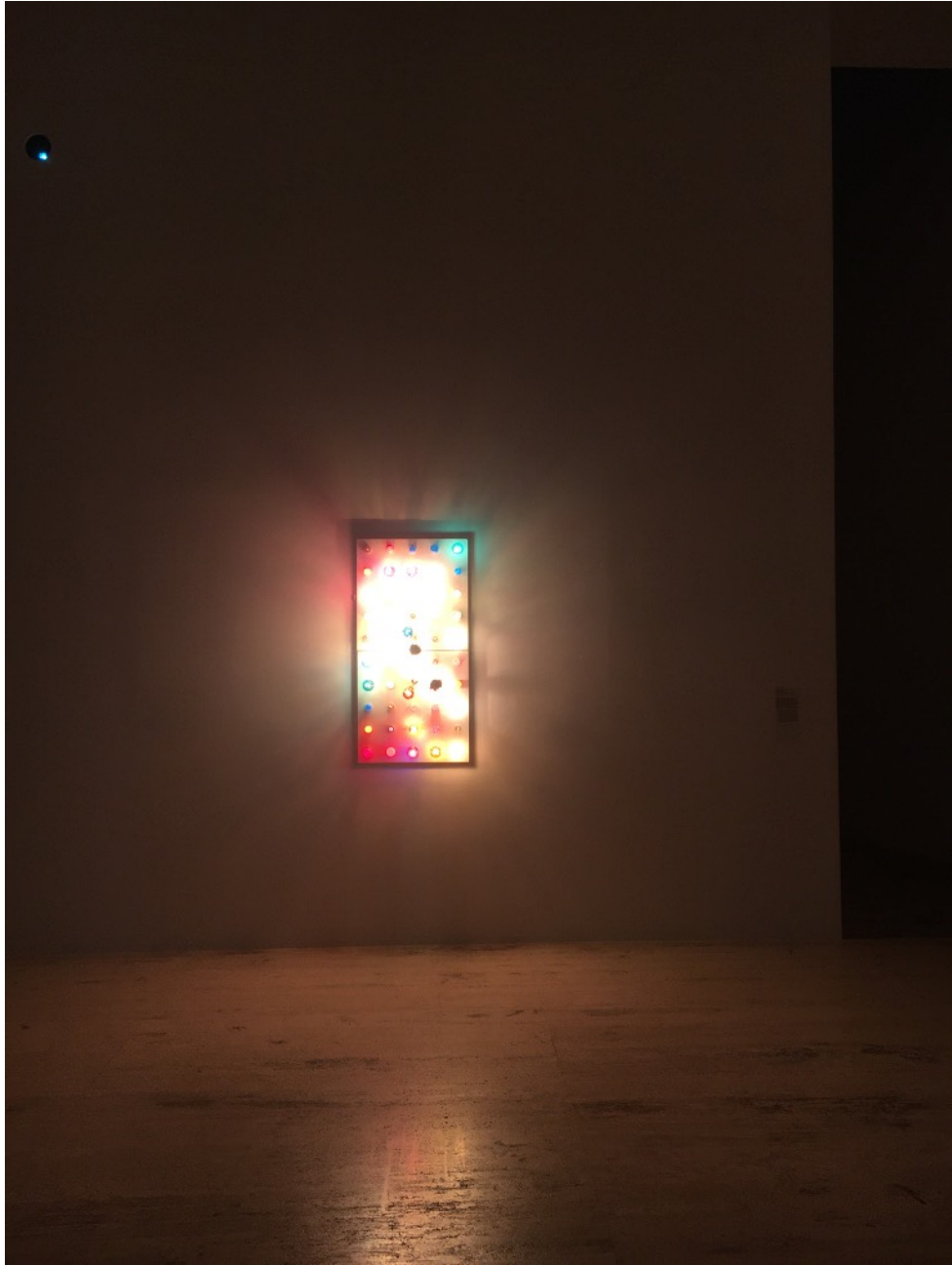
























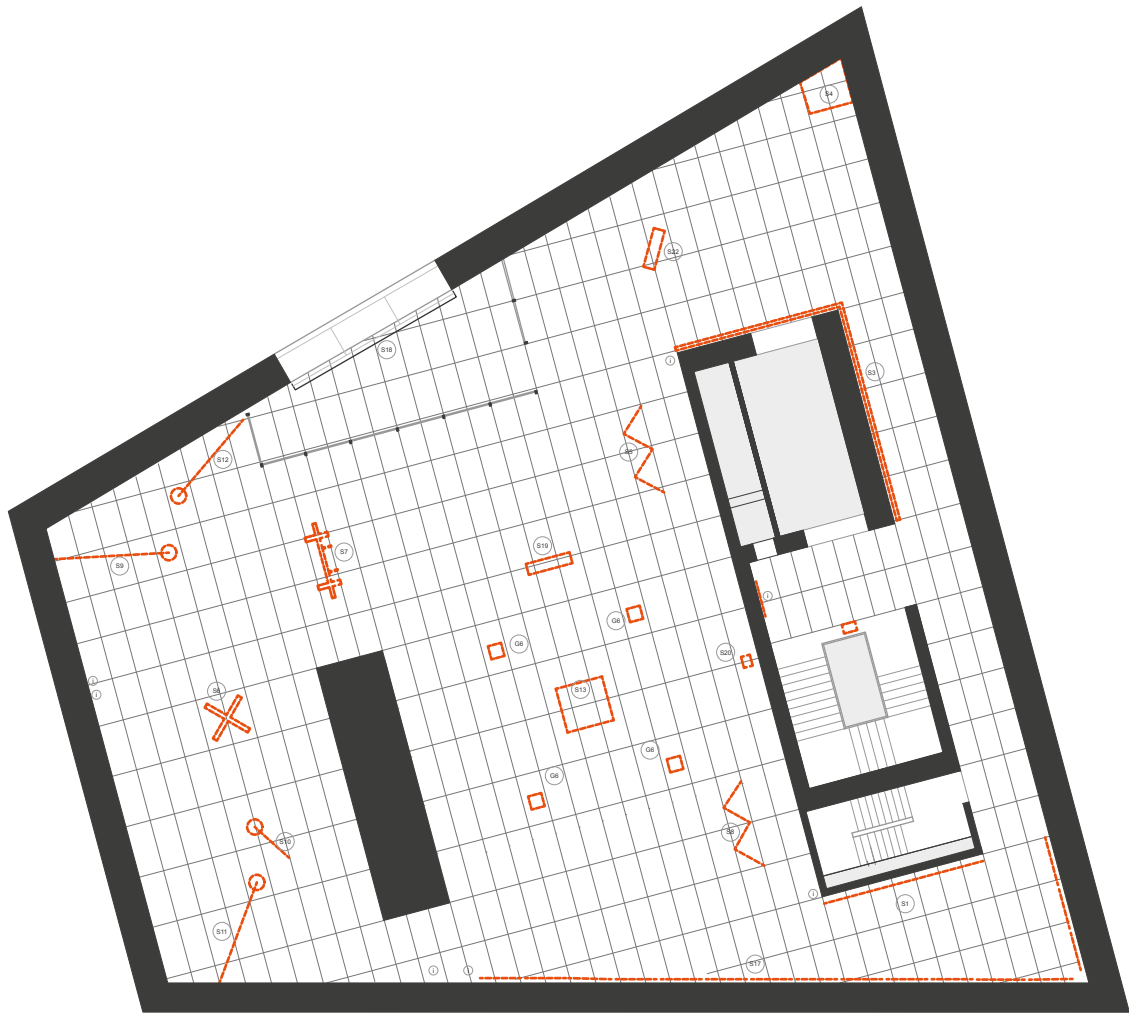




Júmex Nivel 2: Sofía Táboas. Gama Térmica

- S1. **Sofía Táboas**, *Sin título (Muro plateado)*, 2000
- S2. **Sofía Táboas**, *Filtro lama*, 2011
- S3. **Sofía Táboas**, *Línea térmica*, 2016
- S4. **Sofía Táboas**, *Umbral templado*, 2021
- S5. **Sofía Táboas**, *Mural termocrómico*, 2021
- S6. **Sofía Táboas**, *Muros cardinales*, 2021
- S7. **Sofía Táboas**, *Adobe espectacular*, 2015 - 2021
- S8. **Sofía Táboas**, *Cualquier abertura filtrada, giratorio*, 2019
- S9. **Sofía Táboas**, *Lastre volcánico con ventana roja*, 2019
- S10. **Sofía Táboas**, *Lastre volcánico con ventana verde*, 2019
- S11. **Sofía Táboas**, *Lastre volcánico con ventana violeta*, 2019
- S12. **Sofía Táboas**, *Lastre volcánico con ventana amarilla*, 2019
- S13. **Sofía Táboas**,
Guarda fuegos 1, 2021
Guarda fuegos 2, 2021
- Guarda fuegos 3*, 2021
Guarda fuegos 4, 2021
- S17. **Sofía Táboas**, *Gama térmica 1*, 2021
Gama térmica 2, 2021
Gama térmica 3, 2021
Gama térmica 4, 2021
Gama térmica 5, 2021
Gama térmica 6, 2021
Gama térmica 7, 2021
Gama térmica 8, 2021
Gama térmica 9, 2021
Gama térmica 10, 2021
Gama térmica 11, 2021
Gama térmica 12, 2021
Gama térmica 13, 2021
Gama térmica 14, 2021
Gama térmica 15, 2021
Gama térmica 16, 2021
- S18. **Sofía Táboas**, *Trama luz*, 2021
- S19. **Sofía Táboas**, *Invernadero (ventana de orquídeas)*, 2021
- S20. **Sofía Táboas**, *Remate térreo y linterna*, 2021
- S21. **Sofía Táboas**, *Atrapa vientos*, 2021
- S22. **Sofía Táboas**, *Nado libre*, 2021

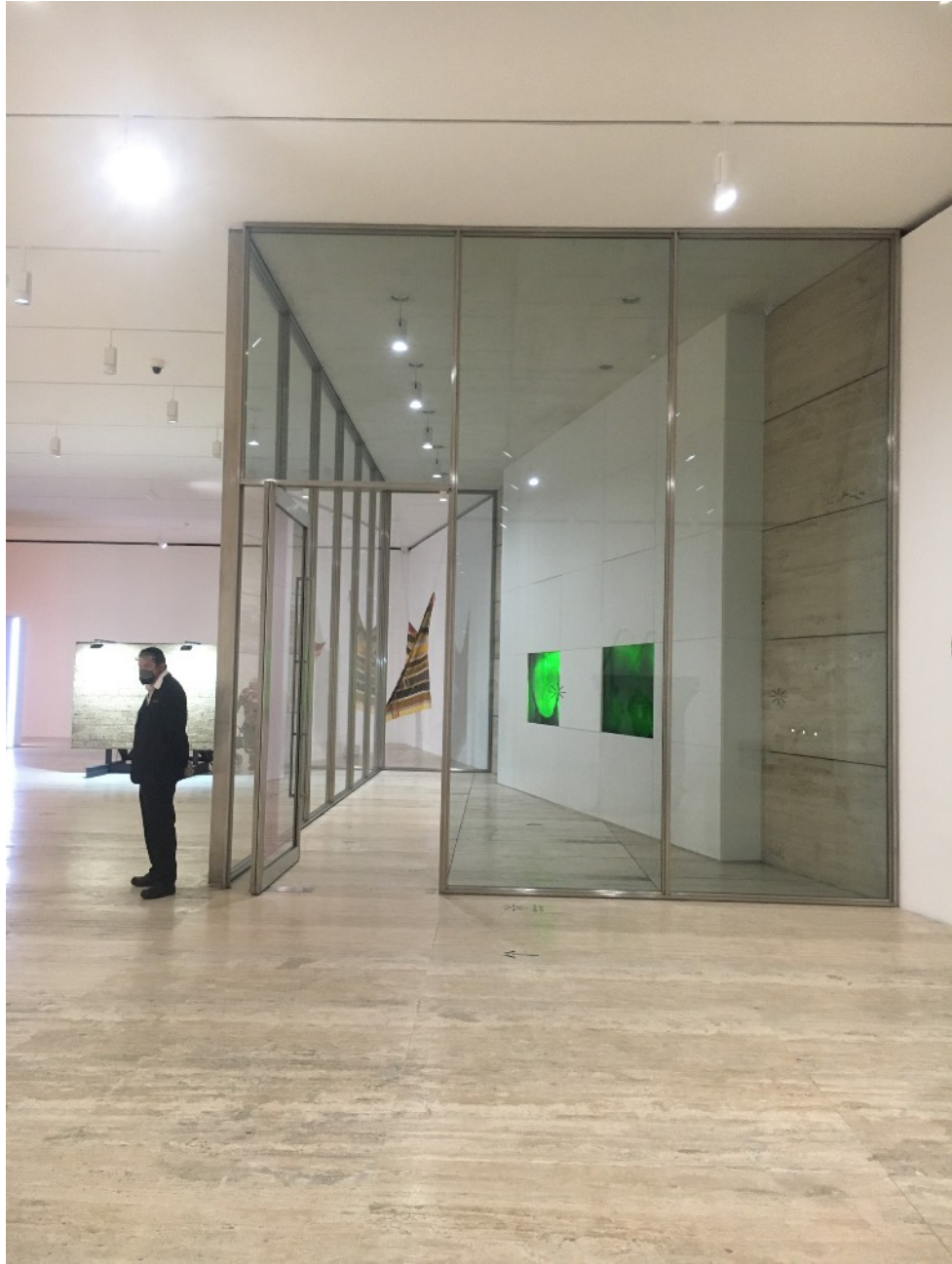
(Croquis y fotografías propias)



































Júmx Nivel 1: Leo Marz

L1. **Leo Marz**, *So, we're all guests, and no one knows anyone* [*Entonces, todos somos huéspedes y nadie conoce a nadie*], 2021

L2. **Leo Marz**, *I kiss you - across hundreds of separating years* [*Te beso - a través de cientos de años que nos separan*], 2021

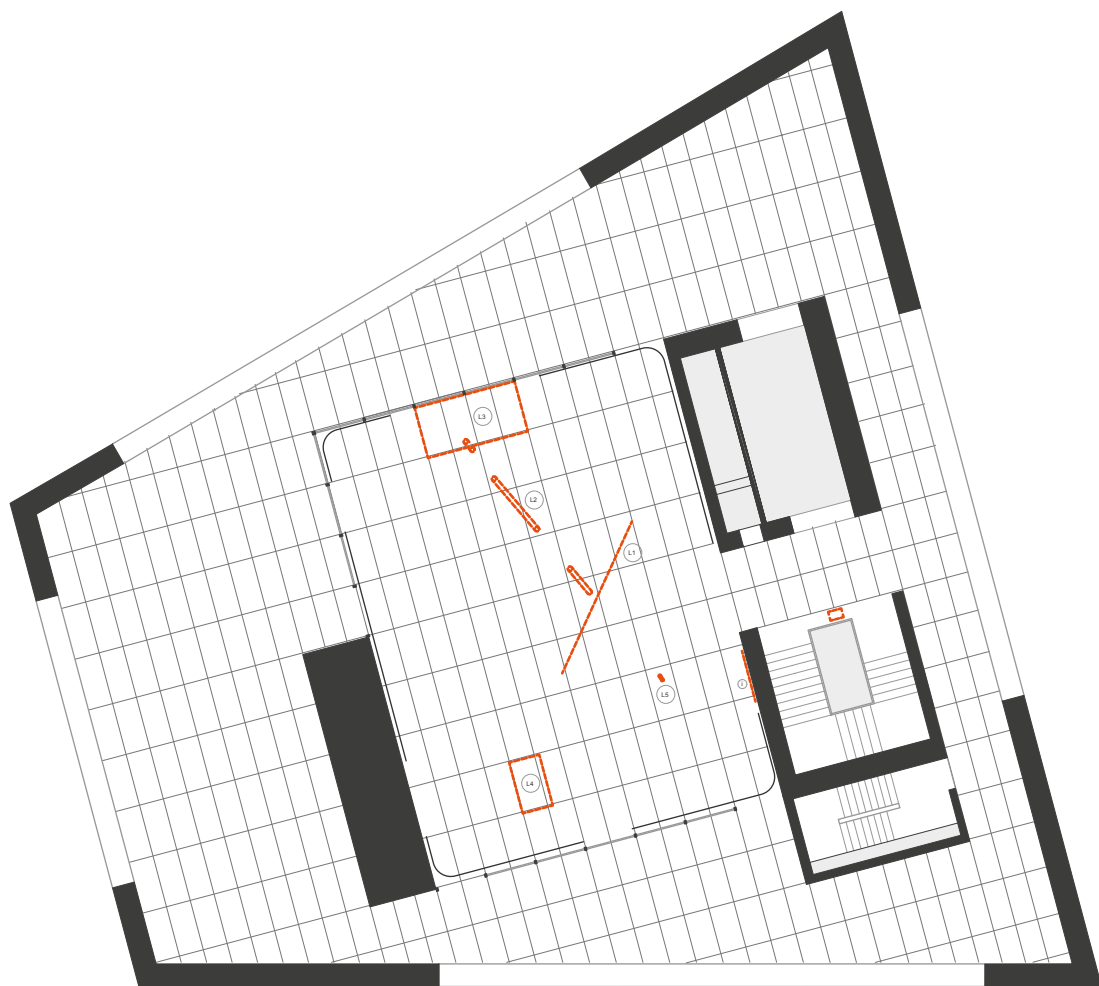
L3. **Leo Marz**, *Death takes a picture* [*La muerte toma una foto*], 2021

L4. **Leo Marz**, *The last time we saw each other, I forgot to tell you* [*La última vez que nos vimos se me olvidó decirte*], 2021

L5. **Leo Marz**, *Las señales muertas* [*The Dead Signals*], 2020

L6. **Leo Marz**, *Old Stories for Young Readers* [*Historias viejas para lectores jóvenes*], 2021. Performance

(Croquis y fotografías propias)















MUAC Salas 7 y 8: Ana Torfs

T1. **Ana Torfs**, *Incantations*, (*Double Double*), 2017

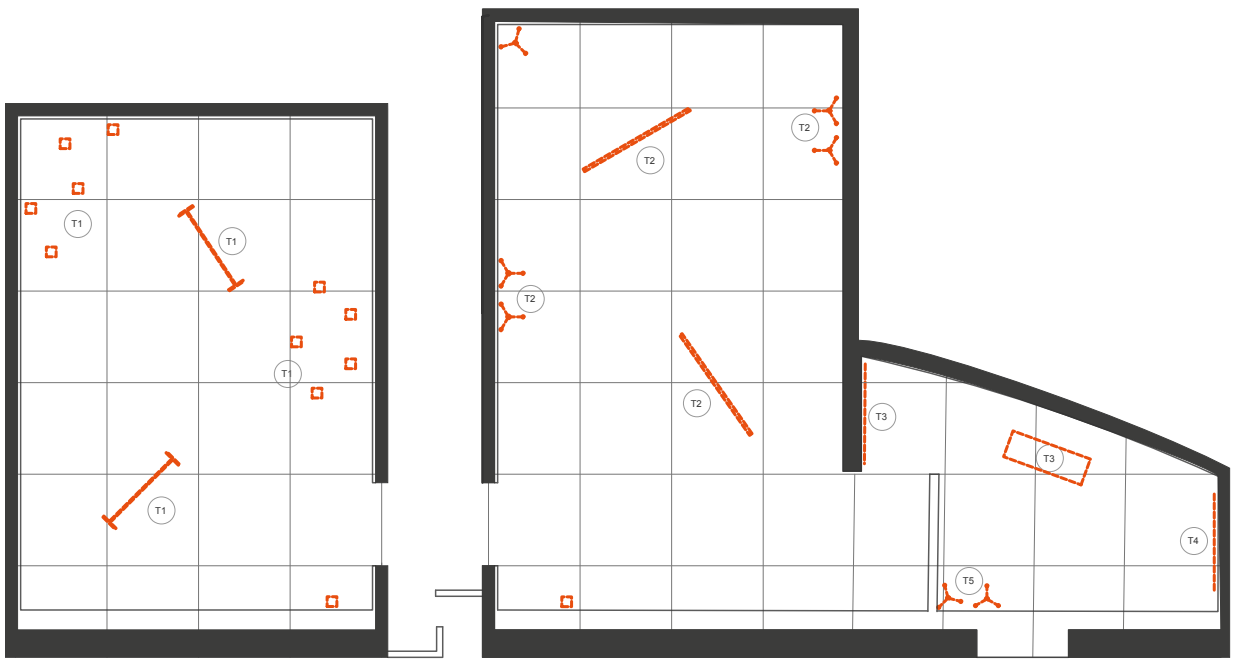
T2. **Ana Torfs**, *The Parrot & the Nightingale, a Phantasmagoria*, (*Double Double*), 2014

T3. **Ana Torfs**, *Echo's Bones/Were Turned to Stone*, 2020

T4. **Ana Torfs**, *Sideshow*, 2019

T5. **Ana Torfs**, *When You Whistle, It Makes Air Come Out* 2019

(Croquis y fotografías propias)













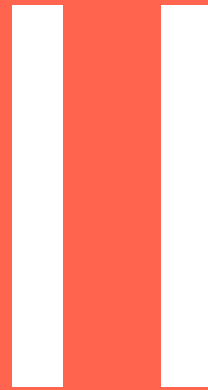








APÉNDICE



Glosarios

Terminología de la metodología de Space Syntax y análisis de Isovistas

Apertura (overt control).- Muestra la proporción que existe entre el área visible desde un punto y el área visible para el promedio de los puntos observados. Un alto valor sugiere una posición de mayor control e información visual, como ocurre en un acceso o una mirilla.

Campo de isovistas. Representación gráfica de la variación que existe entre las características geométricas de todas las isovistas que conforman una superficie de análisis.

Circularidad (Cv). En análisis VGA, coeficiente que describe el parecido de una isovista con un círculo a partir de la relación entre su área y su perímetro. Un valor de 1 representa un círculo, un 0 a una línea de largo infinito, 0.78 es la medida de circularidad de un espacio cuadrado.¹ Es una magnitud de orden local. Un punto con alta circularidad tendrá pocos obstáculos que lo describan, mientras que una baja circularidad indicará presencia de obstáculos o una variación significativa entre el

largo y ancho del espacio visible, como en un pasillo.

Coefficiente de desplazamiento.- Indica la distancia que existe al centro de la isovista. Valores bajos determinan que existen visuales equiparables en todas las direcciones, mientras que valores altos indican que es posible obtener la máxima información visual disponible con solo mover la posición de la cabeza. Abajo y Delgado sugieren que las personas caminan en dirección a los puntos con bajo coeficiente de desplazamiento cuando están eligiendo.

Conectividad. En la metodología de Space Syntax, es el número de conexiones válidas para un elemento del sistema. En un mapa, corresponde al número de líneas conectadas a cada nodo; es una magnitud de orden local. Su interpretación depende del tipo de análisis. En el análisis de movilidad enumera el número de módulos vecinos y accesibles inmediatamente desde el módulo de referencia. En el análisis de visibilidad enumera el

¹ Abajo, E. & Delgado, J.M. (2018). Una propuesta del área de Matemáticas para el Taller de Arquitectura: percepción del espacio mediante parámetros asociados a la visibilidad. *Modelling in Science Education and Learning*, 11 (2) 39-57 doi: 10.4995/msel.2018.10088.

número de módulos que son visibles directamente desde el módulo de referencia, sin considerar la distancia a que se encuentren o el número de módulos intermedios. Equivale al *grado o valencia* de un nodo.

Conectividad visual. En el análisis VGA, refiere al número de nodos visibles a partir del nodo de referencia. Sirve como indicador del área total visible desde cada punto del espacio.

Confluencia (Choice). Mide el número de ocasiones en que uno de los nodos aparece como parte del camino mínimo existente entre cada par de nodos que componen el sistema. Es una magnitud de orden global.

Contraste de visibilidad (Counterpoint). Muestra la relación entre el área visible desde el punto donde uno está y las áreas contiguas. En las áreas rojas puede decirse que la capacidad visual se mantiene estable en los alrededores, mientras que las áreas azules denotan el potencial de aumentar o disminuir significativamente la capacidad visual por medio del desplazamiento.

Co-visibilidad. Muestra el área visible promedio de todos los puntos que componen una isovista. Resalta la distinción entre zonas con alta y baja visibilidad, creando fronteras más claras en los límites de oclusividad.

Curvatura.- Representa la proporción de visuales significativamente largas con respecto a las visuales significativamente cortas para un punto determinado. Los puntos azules corresponden a espacios convexos y ocultos, como una cueva, mientras que los rojos podrían considerarse cóncavos y muy expuestos.

Encubrimiento (covert control).- Muestra la posibilidad de ver sin ser visto, al relacionar la poca visibilidad de un punto (baja visibilidad relativa) con un la posibilidad de aumentar significativamente el área visible con un mínimo desplazamiento (alta covisibilidad).

Espacio convexo. En la metodología de Space Syntax, refiere a una porción del espacio en el que no es posible trazar ninguna tangente que lo atraviese. Desde la geometría, implica que todos los ángulos interiores de su perímetro son menores o iguales a 180°.

Exposición (Visual choice). Mide el número de ocasiones en que un nodo es visible desde las diferentes posiciones que forman parte del camino mínimo existente entre cada par de nodos que componen el sistema. Es una magnitud de orden global. Un valor alto significa una alta probabilidad de ser visto, mientras que un valor bajo implica que podría

permanecer oculto en algunos recorridos.

Índice de encubrimiento (Occlusivity).

En análisis VGA, proporción de los bordes de una isovista que no están definidos por elementos físicos, dando lugar a cambios en la visibilidad resultado del movimiento. Referido por algunos autores como *oclusividad*.

Inteligibilidad. En la metodología de Space Syntax, grado de correspondencia entre la conectividad y la integración de un nodo. Es una magnitud que integra valores locales y globales. Un espacio que está bien conectado e integrado da cuenta sobre su jerarquía y centralidad en la configuración del edificio, facilitando la navegación de los usuarios.

Isovista (Isovist). Es el polígono que delimita todos los puntos visibles desde un punto de referencia en el espacio, considerando 360° sobre un plano horizontal. Una isovista puede ser descrita geométricamente según su área, perímetro, índice de encubrimiento, circularidad, excentricidad, etcétera.

Línea axial. Propuestas por Hillier y Hanson en "The Social Logic of Space" como las rectas de visibilidad más largas que atraviesan un espacio. Un análisis axial permite identificar el número mínimo de cambios de dirección para reconocer

la ruta y desplazarse de un sitio a otro.

Magnitud o medida global. Refiere a que la variable o su valor está determinado por la relación que existe entre el nodo de referencia y sus conexiones, como producto del resto de conexiones existentes en el sistema.

Magnitud o medida local. Refiere a que la variable o su valor está determinado por la relación que existe entre el nodo de referencia y sus conexiones directas.

Mapa alpha. En el análisis alpha, se consideran como conectados dos espacios donde el espacio es continuo. En el análisis propuesto, la continuidad se medirá entre los nodos centrales de cada módulo. Si un centro puede conectarse con otro sin que sea obstruido por elemento alguno, se dirá que los módulos están conectados. En la metodología de Space Syntax, un mapa alpha está normalmente asociado con un mapa convexo, donde cada nodo corresponde a una habitación. En este proyecto se propone que los nodos correspondan a porciones discretas de un espacio continuo.

Mapa axial. En la metodología de Space Syntax, representa al conjunto mínimo con las mayores líneas de visión y accesibilidad que pueden ser trazadas a lo largo de espacios

convexos, Un mapa axial puede ser analizado como un grafo en el cual cada línea axial representa un vector y cada intersección entre líneas representa una arista. Este tipo de mapa ha sido utilizado ampliamente para el estudio de vialidades dentro de una trama urbana.

Mapa convexo. En la metodología de Space Syntax, un mapa convexo se compone a partir del conjunto mínimo de espacios convexos con que se puede cubrir el área de análisis. En este tipo de mapa, los espacios pueden tener cualquier dimensión siempre que cada uno de sus ángulos interiores sean menores o iguales a 180°. Cada espacio convexo se integra como nodo en un gráfico, y sus relaciones de adyacencia se representan como aristas.²

Mapa gamma. En la metodología de Space Syntax, un mapa tipo gamma es la representación gráfica de espacios independientes en términos de permeabilidad. Cada subdivisión del espacio se representa como un nodo circular y su relación de permeabilidad con respecto a otros nodos se representa en forma de una arista. El espacio exterior se

considera un nodo con carácter especial y se dibuja con una cruz en el centro.³

Nodo o vértice. En teoría de grafos, cada uno de los elementos que componen el conjunto o sistema.⁴ En la metodología de Space Syntax, estos nodos corresponden a segmentos del espacio que pueden tener distinta naturaleza dependiendo del tipo de tipo de análisis realizado.

Orden de un grafo. En teoría de grafos, número de nodos considerados en el conjunto de análisis.⁵

Paso (Step). En la metodología de Space Syntax, corresponde a la unidad de la distancia topológica en un grafo.

Profundidad. En la metodología de Space Syntax, se refiere a la necesidad de atravesar un espacio o línea axial intermedio para poder llegar de un punto a otro. La profundidad se mide en pasos.

Profundidad visual promedio (Visual mean depth). Promedio de los cambios de posición necesarios para tener acceso visual desde cada nodo

²Hillier, B. & Hanson, J. (1984), *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press: Cambridge. pp.92, 100-114

³Hillier, B. & Hanson, J. (1984), *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press: Cambridge. pp.92, 147-149

⁴ Menéndez Velazquez, Amador. (1998). Una breve introducción a la teoría de grafos. SUMA 28. Universidad de Oviedo. junio 1998, p. 13

⁵ Menéndez Velazquez, Amador. (1998). Una breve introducción a la teoría de grafos. SUMA 28. Universidad de Oviedo. junio 1998, p. 13

hacia todos los demás que forman parte del área de estudio.

Radio de análisis. En sintaxis espacial se denomina radio al número de pasos o iteraciones consideradas dentro de un análisis. La naturaleza de dichos pasos dependerá del tipo de análisis que se ejecuta. Por ejemplo, si se analiza la conectividad topológica con un radio dos entonces se toman en cuenta todas las ubicaciones que se encuentran hasta una distancia de dos módulos. En otro caso, un análisis de visibilidad con radio dos, considerará todos los puntos visibles después de haber alcanzado cada uno de los puntos visibles desde la posición original. En teoría de grafos corresponde a la potencia de la función de adyacencia (Jordán, 4/42).

Teoría del movimiento natural. En la teoría de Space Syntax, los espacios con mayores niveles de integración suponen niveles mayores de movimiento, promoviendo accesibilidad a una mayor variedad de usos.

Varianza.- Suma de la variación que existe entre la longitud de vista promedio y cada una de las longitudes de vista específicas para cada punto. Puede ser indicador de complejidad o excentricidad.

Visibilidad relativa (directed visibility).- Muestra el porcentaje del área de estudio que es visible desde cada punto. Las áreas rojas muestran los espacios con mayor visibilidad, mientras que las áreas azules muestran las áreas con menor visibilidad.

Terminología en teoría de grafos

Accesibilidad/alcanzabilidad. Condición entre dos vértices que implica la existencia de una cadena con longitud igual o mayor a 0 entre uno y otro. Se puede representar mediante una matriz de acceso donde se coloca valor de uno si el vértice i (renglones) alcanza al j (columnas) y cero si no lo alcanza. La matriz de acceso se puede obtener a partir del análisis de extensión BFS y profundidad DFS. En una componente conexa la matriz de acceso está compuesta solo por unos (Jordán, 10/42).

Adyacencia: Condición entre dos vértices unidos por una arista; relación directa entre dos elementos dentro del conjunto. En Space Syntax a esta condición de adyacencia se le llama conexión. (Jordán, 1/42).

Arista: Par no ordenado de vértices, se establece una relación entre dos elementos donde no existe o no es relevante un sentido de dirección (Jordán, 1/42). En la metodología de Space Syntax corresponde al concepto de *conexión* y representa relaciones de continuidad, permeabilidad o visibilidad entre espacios, dependiendo del análisis que se realiza.

Arista de corte o puente. Arista que, al ser eliminada, provoca que crezca el número de componentes conexas de un grafo. Una arista de corte no es parte de un ciclo. En un grafo no dirigido, es de corte cualquier arista que no pertenezca a ningún ciclo (Jordán, 7/42).

Aristoconectividad. Número de aristas que constituyen la cortadura de aristas con menos aristas dentro de un grafo conexo. La aristoconectividad de un grafo no conexo es siempre cero (Jordán, 8/42).

Árbol. Grafo no dirigido que es conexo y sin ciclos. En un árbol existe un único camino entre cada par de vértices, por eso se sabe que su número de aristas es igual al número de vértices menos uno y que contiene al menos dos vértices de grado 1 (Jordán, 12/42). En la teoría de Space Syntax, a los árboles se les denomina mapas no distribuidos.

Árbol dirigido con raíz o arborescencia. Grafo acíclico donde todos los nodos tienen grado de entrada uno; es decir, que son el destino de un solo arco, excepto la raíz que tiene grado de entrada cero, por lo que no es destino

de ningún arco. En el grafo subyacente existe un único camino desde la raíz hasta cada uno de los vértices; es simple, acíclico y conexo (Jordán,13/42).

Árbol generador. Subgrafo generador que sea conexo y acíclico. El algoritmo de Kruskal proporciona un árbol generador de mínimo coste para un grafo no dirigido ponderado y conexo (Jordán, 12/42).

Arco: Par ordenado de vértices, donde se distingue cuál aparece primero y cuál aparece en segundo lugar. (Jordán, 1/42). Se entiende que el arco sale de un nodo de origen para entrar a un nodo de destino.

Cadena: sucesión finita alterna de vértices y aristas/arcos. La cadena puede representarse únicamente por medio del listado de vértices, entendiéndose que existe una única arista que los une (Jordán,10/42).

Cadena cerrada: cadena cuyos vértices inicial y final coinciden, en Space Syntax equivale a un anillo (Jordán, 10/42). Existe una cadena cerrada cuando todos los vértices del grafo tienen grado par y se le llama ciclo euleriano. Un grafo tiene una cadena no cerrada cuando exactamente dos de sus vértices tienen grado impar, que conforman los extremos de la cadena. Un s-grafo tiene cadena euleriana cuando todos sus vértices tienen igual grado de entrada que de

salida, excepto dos en los que se excede en uno el grado de entrada y salida respectivamente (Jordán, 35/42).

Camino: una cadena en la que no se repiten ni vértices ni aristas/arcos (Jordán, 10/42).

Camino o ruta. En teoría de grafos, es la secuencia alternada entre nodos y aristas donde cada arista tiene como extremo al nodo precedente y subsecuente. La longitud de un camino es el número de aristas o conexiones que contiene.(Menéndez, 1998, p.13)

Camino más corto. Se puede estimar mediante el camino con menor coste mediante el algoritmo de Dijkstra que obtiene el camino más corto de un vértice a todos los demás en un grafo ponderado positivo. El algoritmo de Floyd proporciona el camino más corto de cualquier vértice a cualquier vértice y funciona en cualquier grafo ponderado sin ciclos negativos (Jordán, 10/42).

Ciclo: cadena en la cual no se repiten ni vértices ni aristas, salvo por el vértice final, que coincide con el inicial (Jordán, 10/42). En un grafo conexo con ciclos, el número de aristas es mayor o igual que el número de vértices (Jordán, 12/42).

Clase de equivalencia. Partición del conjunto de vértices de grafo en la cual todos los vértices están conectados entre sí. Todo vértice se alcanza a sí mismo, por lo que el tamaño mínimo de una clase de equivalencia es 1. Las clases de equivalencias no se intersectan entre sí y en conjunto incluyen al total de vértices del grafo (Jordán, 5/42).

Componente conexa de un grafo.

Subgrafo maximal donde todos los vértices están en la misma clase de equivalencia; en otras palabras, están conectados unos con otros. Si existe una única componente conexa, se dice que el grafo es conexo. Un grafo no conexo tiene fragmentos independientes uno de otro. Para un grafo no dirigido, el total de vértices del grafo es igual a la unión o la suma de los vértices de cada una de sus componentes conexas; de igual manera, el total de aristas del grafo es igual a la unión o la suma de las aristas de cada una de sus componentes conexas. En una componente conexa siempre existe un número de aristas igual o mayor que el número de vértices que la componen menos uno. (Jordán, 5 y 11/42).

Conectividad. Se determina a partir del número de vértices que constituyen la cortadura de vértices con menos elementos dentro de un grafo conexo. La conectividad de un grafo no conexo es siempre cero (Jordán, 8/42).

Conexión/alcance. Condición entre dos vértices que implica la existencia de un camino entre uno y otro. En un grafo no dirigido esta es una relación binaria de equivalencia; es decir, que es simétrica, reflexiva y transitiva y por tanto genera clases de equivalencia. Si en un grafo no dirigido una arista forma parte de un ciclo y esta se elimina, no afecta a la conexión entre sus elementos (Jordán, 5/42). En un grafo dirigido se considera como fuertemente conexos al par de vértices donde existe un camino donde v alcance a u y otro donde u alcance a v ; esta también es una relación binaria de equivalencia que da lugar a clases de equivalencia. Se considera débilmente conexos a aquellos grafos dirigidos donde al eliminar el sentido de los arcos se obtiene un grafo no dirigido conexo (Jordán, 6/42).

Cortadura de vértices. Conjunto de vértices que al ser eliminados parten al grafo en más de una componente conexa (Jordán, 8/42).

Cortadura de aristas. Conjunto de aristas que constituye una bipartición de un grafo; es decir, que al ser eliminadas parten al grafo en más de una componente conexa (Jordán, 8/42).

Distancia topológica. En teoría de grafos, se denomina distancia a la longitud que tiene el camino más corto entre dos nodos. Por longitud se refiere al número de conexiones o pasos entre

nodos que hay que realizar a lo largo de la ruta (Menéndez, 1998, p.14).

Extremos: los dos elementos de V (vértices) que componen un par (arista o arco) dentro del conjunto E (Jordán, 1/42).

Fuente. En redes, vértice dentro de un grafo o subgrafo con grado de entrada cero y grado de salida igual o mayor a uno (Jordán, 27/42).

Función de adyacencia: Representación de un grafo. A cada vértice se le asocia como imagen el conjunto de vértices a los que está conectado por una arista. En el caso de un grafo dirigido, a cada vértice se le asocia como imagen el conjunto de vértices que son extremo final de un arco donde tal vértice es extremo inicial (Jordán, 4/42).

Función de adyacencia inversa. En el caso de un grafo dirigido, a cada vértice se le asocia como imagen el conjunto de vértices que son extremo inicial de un arco donde tal vértice es extremo final. En el caso de un grafo no dirigido, las funciones de adyacencia y de adyacencia inversa son equivalentes, ya que no hay un sentido de orden o dirección (Jordán, 4/42).

Grado o valencia de un nodo. En teoría de grafos, refiere al número de nodos adyacentes. Un nodo con valencia

cero se define como aislado y un nodo con valencia uno como terminal (Menéndez, 1998, p.14). En la metodología de Space Syntax, equivale al concepto de conectividad.

Grado de un grafo dirigido: Se llama grado de entrada al número de arcos cuyo extremo final es el vértice de referencia. Se llama grado de salida al número de arcos cuyo extremo inicial es el vértice de referencia. En un grafo dirigido, la suma total de los grados de entrada es igual a la suma total de los grados de salida (Jordán, 2/42).

Grado de un grafo no dirigido: número de aristas incidentes en un vértice v . Si la arista es un bucle en el vértice v , se cuenta que incide dos veces en éste. En Space Syntax equivale al concepto de conectividad. La suma de los grados de cada vértice en un grafo es igual al doble de las aristas que lo componen. Un grafo siempre tiene una cantidad par de vértices con grado impar (Jordán, 2/42).

Grafo: es una pareja de conjuntos (V,E) donde: V es distinto de vacío y E es un conjunto de pares de elementos de V que pueden ser no ordenados (para grafos no dirigidos) u ordenados (para grafos dirigidos) (Jordán, 1/42).

Grafo completo. Grafo sin bucles donde cada vértice está conectado a todos los demás. Un grafo completo tiene

también la propiedad de ser simple y $n-1$ -regular (Jordán, 9/42).

Grafo conexo. Grafo en el que existe una única componente conexas. En un grafo no dirigido conexo todos los vértices se alcanzan mutuamente (Jordán, 11/42).

Grafo k -regular. Grafo donde todos los vértices tienen el mismo grado k . (Jordán, 9/42).

Grafo ponderado. Un grafo en el que cada arista tiene un valor ponderado. A la ponderación se le llama peso o coste (Jordán, 9/42).

Grafo residuo. Grafo que mantiene los vértices del grafo que le da lugar y se adiciona un arco en dirección opuesta a cada arco existente. A los arcos originales se les asocia un valor igual a la capacidad del arco menos su flujo, mientras que a los arcos nuevos se les asocia el valor del flujo original (Jordán, 29/42).

Longitud de la cadena: número de aristas o arcos que forman una cadena (Jordán, 10/42).

Mapa. En teoría de grafos, se reconoce como *mapa* al diagrama de un grafo simple y no dirigido: aquel en el que las relaciones entre sus elementos solo aparecen como existentes o inexistentes sin contemplar ningún

sentido de dirección o influencia. Cada elemento se representa como un nodo en forma de punto o círculo, y la relación existente sus elementos se representa como una línea que conecta ambos nodos.

Matriz de adyacencia: Representación matricial de un grafo. Se trata de una matriz cuadrada $n \times n$, donde n equivale al número de vértices del grafo. Se asigna valor 1 cuando existe adyacencia entre los vértices i y j y un 0 cuando no existe relación de adyacencia; es decir, cuando el par no pertenece al conjunto de pares del grafo. La matriz de adyacencia de un grafo no dirigido es simétrica; un 1 en la diagonal de la matriz representa un bucle. La matriz de adyacencia de un grafo dirigido no es necesariamente simétrica; también aquí un 1 en la diagonal representa un bucle. Una matriz de adyacencia de un grafo simple solo tiene ceros en la diagonal (Jordán, 3/42).

Orientabilidad. Condición de un grafo no dirigido de asignar dirección a sus aristas con tal que resulte un grafo dirigido fuertemente conexo (Jordán, 6/42).

Potencia de una función de adyacencia. En lugar de asociar vértices según una relación de adyacencia, lo hace a través de cadenas de longitud igual a la potencia de la función. La potencia puede ser negativa indicando que se consideran cadenas con función de

adyacencia inversa (Jordán, 4/42). En Space Syntax se denomina radio de análisis.

Recubrimiento. Conjunto de vértices tal que ocupen al menos un extremo de cada arista del grafo. El recubrimiento es mínimo si abarca el total de las aristas con el mínimo número de vértices (Jordán, 20/42).

Representación gráfica de un grafo:

Cada elemento o vértice se representa como un nodo. Los pares de elementos se representan como aristas o arcos, según se trate de pares no ordenados o pares ordenados.

S-Grafo. Multigrafo donde el mayor número de aristas o arcos de la misma dirección entre dos vértices es s (Jordán, 33/42).

Subgrafo: tanto los vértices como las aristas o arcos son subconjuntos (Jordán, 1/42).

Subgrafo generador: tiene todos los vértices pero no todas las conexiones del grafo donde está contenido, o de donde proviene (Jordán, 1/42).

Subgrafo generado: tiene todas las conexiones existentes para los vértices listado en el subconjunto (Jordán, 1/42).

Subgrafo generado de aristas: incluye todos los extremos del subconjunto de aristas (Jordán, 1/42).

Sumidero. En redes, vértice dentro de un grafo o subgrafo con grado de salida cero y grado de entrada igual o mayor a uno (Jordán, 27/42).

Vértice de corte o punto de articulación.

Vértice que, al ser eliminado, provoca que crezca el número de componentes conexas de un grafo. En un grafo no dirigido de árbol, donde todos los caminos son únicos, un vértice es de corte si su grado es igual o mayor que dos (Jordán, 7/42).