

# Análisis y comprobación experimental, de la tecnología de Simulación Peatonal, aplicada al diseño de espacios de circulación en proyectos de Arquitectura, mediante el caso de estudio: "Terminal de Pasajeros Aeródromo Pichoy", Valdivia, Chile.

*Pablo Patricio Castro Espinoza  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile  
AUA80006-6, Seminario de Licenciatura  
Arq. Juan Pablo Morales Cordova  
13 de diciembre de 2021*



# 0.- Resumen

*En el presente seminario de investigación se trata la problemática del uso de la simulación peatonal como un insumo válido y relevante en la toma de decisiones de arquitectura para el diseño de flujos y circulaciones en proyectos de pequeña y mediana escala, de este modo para respaldar la validez de esta herramienta fue en principio necesario desarrollar un examen teórico del fenómeno de los flujos peatonales como variable proyectual, donde se estableció su ocurrencia, dinámicas, propiedades, tratamiento desde la perspectiva arquitectónica, complejidades de su estudio y los problemas relativos a estos en el espacio diseñado, paralelamente para entender la simulación peatonal como una herramienta válida en el entorno de desarrollo arquitectónico se desarrolló a través de un examen teórico el concepto general de simulación, una breve aproximación hacia su funcionamiento, una presentación de simulación peatonal con enfoque de diseño arquitectónico y finalmente se seleccionó la herramienta de simulación peatonal "Ped Sim Pro v. 1.2" donde se realizaron 3 ejemplos para presentar el funcionamiento en particular y preparar el análisis experimental del caso de estudio. Para culminar esta investigación y demostrar la validez de la simulación peatonal como herramienta se seleccionó el caso de estudio del aeródromo Pichoy ubicado en la ciudad de Valdivia donde se presenta el espacio del proyecto, las condiciones relativas a los flujos peatonales y un análisis de campo para posteriormente construir una simulación de control con el fin de confirmar la capacidad predictiva de la herramienta, finalmente se plantean tres escenarios distintos de la simulación de control que permiten reconstruir como la herramienta es capaz de entregar datos objetivos sobre los flujos peatonales en relación con el espacio diseñado la capacidad de la herramienta de ser estable y coherente ante diferentes situaciones, permitiendo como última etapa de la investigación establecer las bases para el desarrollo de una metodología de trabajo con perspectiva de arquitectura que integre la simulación peatonal al proceso de diseño en proyectos de mediana y pequeña escala.*





# 0.- Índice

	<i>pág.</i>
<b>0.- Índice.</b>	3 - 4
<b>1.- Presentación.</b>	5 - 9
<b>2.- Capítulo 0, Introducción.</b>	10 - 31
<b>2.1.- Planteamiento del Problema de Investigación.</b>	11 - 21
<b>2.2.- Pregunta de Investigación.</b>	21
<b>2.3.- Objetivos de la Investigación.</b>	21 - 22
<b>2.4.- Supuestos.</b>	22 - 25
<b>2.5.- Propuesta Metodológica.</b>	26 - 28
<b>2.6.- Definición del Caso de Estudio.</b>	29 - 31
<b>3.- Capítulo I, Flujos Peatonales en la Arquitectura.</b>	32 - 77
<b>3.1.- El Fenómeno de los flujos en la Arquitectura.</b>	33 - 43
<b>3.2.- Propiedades y dinámicas de los flujos Peatonales.</b>	43 - 57
<b>3.3.- Tratamiento de los flujos peatonales en la Arquitectura.</b>	57 - 61
<b>3.4.- Complejidades del análisis y diseño de flujos Peatonales.</b>	61 - 68
<b>3.5.- Problemas relativos a los flujos peatonales en la Arquitectura.</b>	68 - 77
<b>4.- Capítulo II, Introducción a la Simulación en la Arquitectura.</b>	78 - 107
<b>4.1.- Conceptualización general de la Simulación Digital.</b>	79 - 83
<b>4.2.- Funcionamiento general de los Software de Simulación.</b>	83 - 86
<b>4.3.- Presentación de la Simulación Peatonal con enfoque de Arquitectura.</b>	86 - 89
<b>4.4.- Demostración Introductoria de la Simulación Peatonal en la Arquitectura.</b>	89 - 107

<b>5.-</b>	<b>Capítulo III, Presentación del Caso de Estudio.</b>	<b>108 - 163</b>
5.1.-	<i>Justificación de la Elección del Caso de Estudio.</i>	109 - 112
5.2.-	<i>Presentación del Proyecto y su Espacio.</i>	113 - 128
5.3.-	<i>Presentación de los Datos Peatonales.</i>	128 - 140
5.4.-	<i>Análisis de las Observaciones de Campo.</i>	141 - 163
<b>6.-</b>	<b>Capítulo IV, Análisis Experimental del Caso de Estudio.</b>	<b>164 - 196</b>
6.1.-	<i>Simulación de Control.</i>	165 - 183
6.1.1.-	<i>Construcción de la Simulación de Control.</i>	165 - 167
6.1.2.-	<i>Análisis de la Simulación de Control.</i>	168 - 183
6.2.-	<i>Planteamiento de los Escenarios de Análisis.</i>	184 - 188
6.3.-	<i>Aplicación de los Escenarios de Análisis.</i>	189 - 212
6.3.1.-	<i>Escenario I, Operación en condiciones de Baja densidad Peatonal.</i>	189 - 190
6.3.2.-	<i>Escenario II, Operación en condiciones de Alta densidad Peatonal.</i>	191 - 193
6.3.3.-	<i>Escenario III, Operación en condiciones de baja densidad Peatonal.</i>	194 - 196
<b>7.-</b>	<b>Capítulo V, Conclusiones y Observaciones.</b>	<b>197 - 202</b>
7.1.-	<i>Planteamiento de las Bases para el desarrollo de una Metodología que integre la Simulación Peatonal en el Diseño con enfoque de Arquitectura.</i>	198 - 199
7.2.-	<i>Observaciones Específicas Capítulos I-IV.</i>	200 - 201
7.3.-	<i>Conclusiones Generales.</i>	202
<b>8.-</b>	<b>Bibliografía.</b>	<b>203 - 207</b>
<b>9.-</b>	<b>Referencias de Figuras.</b>	<b>208 - 220</b>

# 1.- Presentación.

El tema a desarrollar en este seminario de investigación surge de la observación propia del entorno arquitectónico presente en el diario vivir, donde resulta frecuente para un habitante, circular a través de diferentes espacios donde el propósito básico de los mismos es conducir y albergar a las personas.

De este modo, pareciese ser que dichos espacios estuviesen finamente planificados y diseñados para mantener y contener de manera ordenada a los individuos en movimiento, pero que, en la perspectiva de una observación desde la arquitectura, surgen a la luz problemas comunes a muchos proyectos que resultan evidentes en situaciones extremas o de saturación, como se expresa por Ding et. al. en *"State-of-the-art high-rise building emergency evacuation behavior"* actualmente, la mayoría de los edificios comparten problemas similares sobre construcción y ocupación, durante una evacuación de emergencia, la mayoría de las personas utilizan las escaleras para salir, lo que provoca congestión, además, los residentes de edad avanzada y los niños que se mueven lentamente reducen la velocidad del flujo de evacuación, lo que agrava aún más la congestión y ralentiza el proceso de evacuación de escaleras, lo que eventualmente puede conducir a estampidas, (Ding et al., 2021, p. 2).

Por esto se tiende a pensar el por qué al ser la planificación de circulaciones y estancias uno de los campos elementales en el desarrollo de proyectos, estos entornos suelen presentar problemas observables en muchos proyectos ya concretados, siendo el cuello de botella la manifestación más evidente de lo anterior, tal como lo introduce Li et. al. al mencionar, como geometría típica en un edificio, el cuello de botella restringe los flujos peatonales y el movimiento peatonal, este evento ha sido uno de los escenarios más estudiados en las últimas décadas, el impacto del ancho, la longitud, la forma y la ubicación del cuello de botella en el flujo de peatones y la capacidad del tráfico es evidente en circunstancias generales, (Li et al., 2021, p. 1).

Figura 1: Imagen ilustrativa de una multitud de alta densidad moviéndose en el espacio,

Fuente: [www.pexels.com](http://www.pexels.com)



Subyace en la motivación de esta investigación la necesidad presentada preliminarmente a través de la observación relativa a la planificación de flujos peatonales y circulaciones en gran parte de los proyectos de arquitectura, la que plantea un tratamiento más específico y acabado utilizando herramientas capaces de asistir al proyectista, para reducir la cantidad de problemas en estos espacios tan críticos en el entorno de los proyectos, a través de mecanismos analíticos y predictivos, utilizando la información originada en simulaciones peatonales como un insumo válido a la hora de desarrollar diseños arquitectónicos y tratar con la dinámica de los flujos peatonales de una manera más exacta y objetiva, permitiendo la simulación utilizar su capacidad predictiva inherente para tratar con la naturaleza fundamentalmente caótica de los flujos peatonales, la que ha sido descrita por, Jalalian et. al. aludiendo a las dinámicas de circulación de los peatones que en la realidad estos no siempre siguen un camino simple a lo largo de la línea conectando origen a destino, (Jalalian et al., 2010, p. 1).

Considerando lo anterior y ya planteado el interés de esta investigación de aplicar herramientas que por su naturaleza proveerían información al desarrollo de los proyectos, se entra en propiedad, al campo de la simulación digital, la cual, desde hace ya tiempo forma parte del desarrollo de proyectos, brindando de este modo información crítica para la toma de decisiones de arquitectura, planteándose de esta manera la necesidad de aplicar herramientas de simulación para la obtención de datos relevantes en el análisis de todo lo relativo al movimiento de las personas en el espacio, enmarcado en el desarrollo de proyectos de arquitectura, donde esta herramienta podría brindar y nutrir de información objetiva al proyectista, permitiéndole adelantarse de manera analítica en los escenarios que se verá enfrentado el proyecto y particularmente sus espacios de circulación una vez concretado su diseño.

Lo anterior hace referencia a lo expuesto en la literatura donde se plantea la necesidad de analizar las dinámicas peatonales en un nivel más profundo, tal como se sugiere en "*Architectural evaluation of simulated pedestrian spatial behaviour*", que establece un análisis de la dinámica del flujo de peatones en áreas interiores y exteriores como una faceta importante del diseño arquitectónico y urbano, (Jalalian et al., 2011, p. 132).



Figura 2: Proyecto desarrollado por OMA, CMG Headquarter, Beijing, China, ejemplo de proyecto de arquitectura en el cual existo una aplicación integral de las tecnologías digitales en su proceso de diseño,  
*Fuente: [www.architecturaldigest.com](http://www.architecturaldigest.com)*





Consecuentemente, en el desarrollo de la presente investigación se analizarán tanto el fenómeno de los flujos peatonales en la arquitectura, como la simulación peatonal en el rol de herramienta relevante en este campo disciplinar, considerando que esta última ya se utiliza en el ámbito de la ingeniería solo como una herramienta meramente comprobatoria respecto de situaciones particulares, donde rara vez afecta las decisiones de diseño en la esfera de la arquitectura, lo que también resulta validado por lo señalado en el texto *"Optimising crowd evacuations: Mathematical, architectural and behavioural approaches"*, donde se menciona una definición del enfoque arquitectónico en el uso de herramientas de simulación peatonal, donde se establece que el enfoque de diseño arquitectónico incluye cualquier solución que busque facilitar el flujo de multitudes mediante la realización de alteraciones en el entorno físico, (Haghani, 2020b, p. 2), siendo también dicha definición uno de los motivos por los cuales se pretende presentar la conveniencia y viabilidad de esta herramienta en el campo disciplinar de la arquitectura, ya que entrega un potencial innegable para apoyar el diseño en los problemas respecto del flujo peatonal y cómo el espacio propuesto por el diseñador puede afectar sus dinámicas y comportamientos, ya que este instrumento llevado al ámbito de la planificación es capaz de dar información predictiva sobre el eventual comportamiento de las personas, permitiendo al proyectista tomar decisiones informadas respecto al eventual comportamiento de la obra en función de la real dimensión de los flujos peatonales, como se presenta en las conclusiones del estudio *"Crowds simulation for urban Planning"*, en el que se destacan las propiedades evaluativas de los software de simulación basados en IA (*Inteligencia Artificial*) en el campo del diseño urbano arquitectónico, toda vez que la inteligencia artificial de este sistema permite ejemplos de evaluación simples y complejos independientemente de la escala considerada, cuestión que es aplicable a escalas pequeñas y grandes, (Aschwanden et al., 2008, p. 499).

Finalmente, es relevante enunciar que el desarrollo y enfoque de esta investigación va a ser de carácter mixto entre un examen teórico de las problemáticas preliminarmente propuestas y uno experimental para verificar y demostrar la viabilidad de la herramienta en un entorno de desarrollo de proyectos de Arquitectura.



## **2.- Capítulo 0, Introducción.**

**2.1.- Planteamiento del Problema de Investigación.**

**2.2.- Pregunta de Investigación.**

**2.3.- Objetivos de la Investigación.**

**2.4.- Supuestos.**

**2.5.- Propuesta Metodológica.**

**2.6.- Definición del Caso de Estudio.**



## 2.1.- Planteamiento del Problema de Investigación.

Desde el origen de la civilización humana, las personas tienen una tendencia a agruparse en estructuras y espacios construidos por el hombre lo que se presenta en el documento "Orígenes de la Arquitectura" por Luis Rodríguez Cobos, donde expresa, *"también en la realidad histórica la caverna es parte integrante del primer universo o universo original que ha conocido el hombre. A un punto tal que ella puede ser vista a la vez como un objeto natural y también y ésta es la tesis que intentamos demostrar como un objeto cultural, específicamente como un objeto arquitectónico"* (Rodríguez Cobos, 2015, p. 22), de este modo y con el desarrollo de la sociedad, la planificación de proyectos de arquitectura de mediana y pequeña escala se ha tornado un asunto común y frecuente, donde el avance tecnológico, social y el aumento de complejidad de los proyectos de arquitectura a finales del s. XIX d.C. e inicios del s. XX d. C. hizo presente la necesidad de establecer ciertos *"cánones"* en el desarrollo de proyectos que no sean necesariamente grandes infraestructuras o estén destinados a la monumentalidad, como se establece en *"Los Principios de la arquitectura moderna", "Los principales cometidos del pasado (la iglesia y el palacio) fueron destronados y en adelante las instituciones públicas se consideraron extensiones de la casa. Con ello pasó a primer plano una nueva actitud democrática que estaba en concordancia con la estructura del nuevo mundo"*, (Norberg schulz, 2015, p. 8).

De este modo el desarrollo de proyectos que por su naturaleza son más frecuentes tales como edificios comerciales medianos y pequeños, estaciones de transporte locales, complejos habitacionales horizontales o verticales en incluso edificios destinados a la administración gubernamental local, fueron cada vez mejor desarrollados con estándares de diseño en función de sus reales necesidades y aplicando herramientas proyectuales que permitieron el desarrollo en conciencia de estos proyectos como se desarrolla en el extracto, *"La arquitectura moderna nació para ayudar al hombre a sentirse a gusto en un mundo nuevo. Sentirse a gusto significa algo más que tener cobijo, ropa y alimentos; ante todo, significa identificarse con un entorno físico y social; implica una sensación de pertenencia y participación, es decir, la posesión de un mundo conocido y comprendido. El hombre ha de sentir que se encuentra*



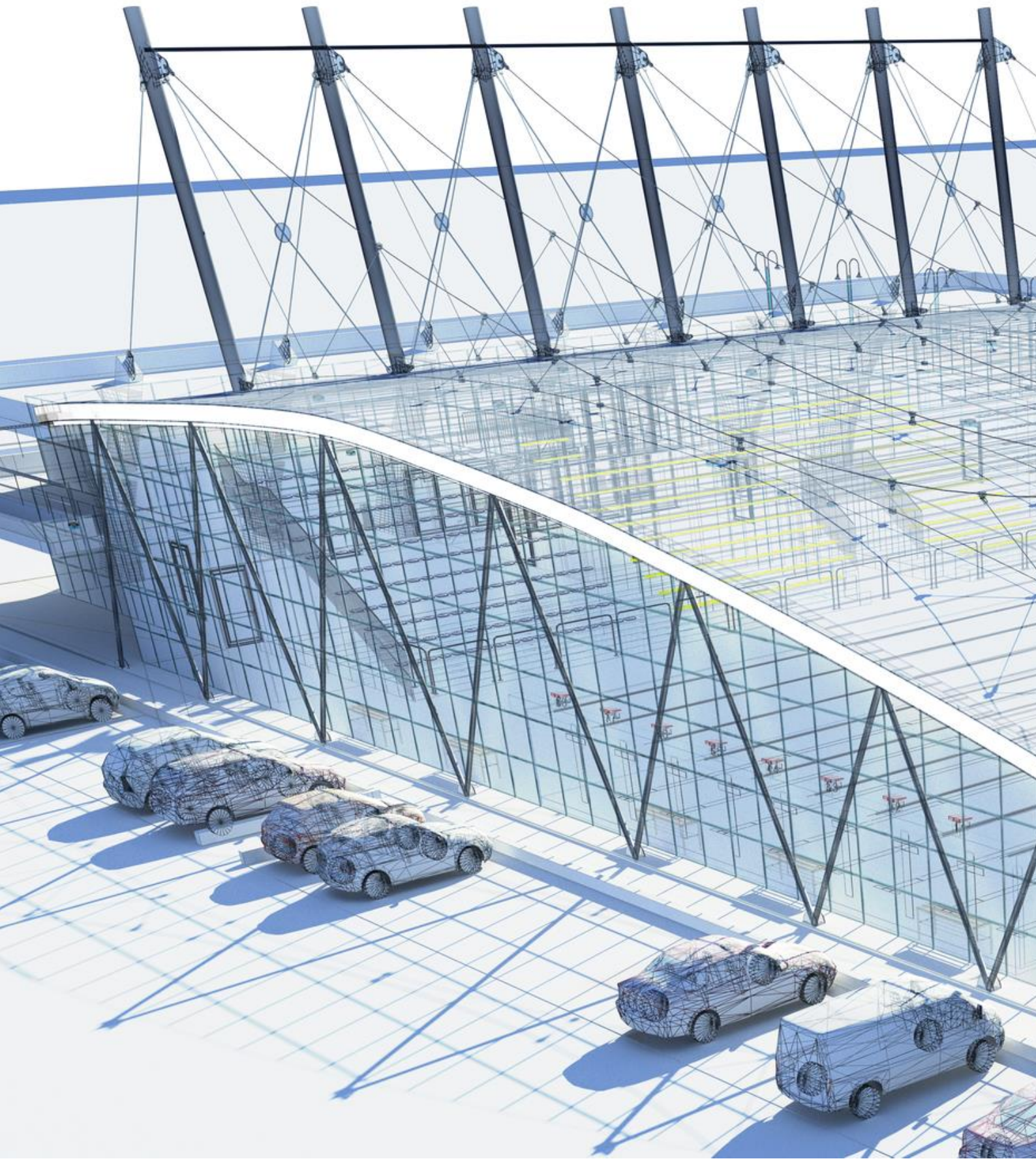
Figura 3: Proyecto Caja de Ahorros Postal de Viena, finalizado en 1912, por Otto Wagner, proyecto de medina escala exponente de los principios de la modernidad temprana y la inclusión de las nuevas variables de diseño en los proyectos, Fuente: [es.wikiarquitectura.com](http://es.wikiarquitectura.com)





*debajo y dentro de cosas conocidas y significativas. Todos somos conscientes de que tal identificación ha llegado a ser problemática en el mundo moderno. Los entornos cerrados y seguros del pasado se han desintegrado, y las nuevas estructuras sociales y físicas exigen nuevas formas de entendimiento"* (Norberg schulz, 2015, p. 8), logrando así un desarrollo en este campo de la arquitectura, que al día de hoy es el que concentra la mayoría de los proyectos concretados. Sin embargo, la escala de la arquitectura de inicios del s. XX hasta el primer cuarto del s. XXI ha cambiado significativamente, donde lo que hoy se entiende como de pequeña o mediana escala en el pasado no muy lejano habría sido un proyecto casi destinado a la gran escala, de modo tal que también han variado las circunstancias y preocupaciones que la disciplina debe enfrentar, porque los desafíos del mundo moderno cada vez más, agregan capas de complejidad al desarrollo de la arquitectura (y de los proyectos), esta impronta de la disciplina por contener las distintas capas de información de los proyectos se ve recurrentemente también en el campo de la implementación BIM donde en el estudio *"BIM in architecture curriculum: a case study"* se hace referencia a las capas de información que se han agregado en la actualidad al desarrollo de proyectos de arquitectura al decir BIM se extiende más allá de la representación de modelos 3D para presentar importantes beneficios a sus usuarios los que cubren las relaciones espaciales, el análisis de la luz, la información geográfica y las cantidades y propiedades de los componentes del edificio, (Abdelhameed, 2018, p. 3), siendo un ejemplo de los problemas que la disciplina está enfrentado en el presente el rápido crecimiento de la población mundial, donde a pesar de que este no sería un fenómeno nuevo, la cantidad concreta de personas es una cifra nunca antes vista, tal como se expresa en *"un mundo de 7 mil millones"*, *"La población mundial se ha duplicado con respecto a la de 1968 y ha aumentado casi un 40% después de llegar a 5 mil millones en 1987, hito que suscito la observancia del primer Día Mundial de la Población. El crecimiento demográfico ha de continuar hasta mediados de este siglo, pese a notables disminuciones en la cantidad media de hijos por mujer, según informa la División de Población de las Naciones Unidas"* (UNFPA, 2011, p. 1), de este modo cada vez hay más personas en el mundo, lo que con el tiempo se traduce en el aumento del uso de los proyectos que ya están concretados, lo que sumado a otros desafíos relativos a la eficiencia en el uso de recursos y el

Figura 4: Imagen renderizada del modelo de un proyecto terminado desarrollado en BIM, ejemplificando las distintas capas de información que se superponen en los proyectos de arquitectura en la actualidad, Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl)





aprovechamiento del suelo urbano, imponen desafíos que tal como se dio a inicios del s. XX exigen innovación en el método y herramientas que se utilizan para proyectar.

Entonces, el problema del mayor uso de los proyectos de arquitectura se traduce en un aumento de los flujos peatonales internos y externos, donde el tópico de los flujos peatonales particularmente, a pesar de ser un ámbito relevante a la hora de tomar las decisiones de arquitectura en los proyectos, cada vez está siendo un punto donde estos en general tienden a fallar, como expresa en las conclusiones de *"Examining influence of merging architectural features on pedestrian crowd movement"* al sostener que no obstante, los resultados de nuestro estudio demuestran que se deben tener las debidas consideraciones en la selección del ángulo de fusión para diseñar cualquier infraestructura pública donde se pueda esperar un gran número de peatones, especialmente, en el caso de una multitud densa y en situaciones de emergencia, la reducción de velocidad y la obstrucción podrían ser vitales y como tal, los arquitectos y planificadores/gerentes de respuesta a emergencias, deben ser conscientes de cómo las pequeñas características estructurales en un área de escape pueden marcar una gran diferencia en términos de eficiencia y seguridad del manejo de multitudes y el proceso de evacuación, (Shiwakoti et al., 2015, p. 21), de este modo el tratamiento de los flujos peatonales por la arquitectura particularmente en la media y pequeña escala se traduce en el desarrollo de líneas que representarían las direcciones en las que los usuarios se desplazan por el espacio, pero que no tiene nada que ver con las dinámicas y propiedades reales de los flujos, propiedades que se ejemplifican en *"A Glossary for Research on Human Crowd Dynamics"*, donde se apela a fenómenos de auto organización y a la formación de carriles, al señalar que el fenómeno de autoorganización que ocurre en las multitudes de peatones que conduce a la formación de grupos de peatones que se mueven en la misma dirección, (Adrian et al., 2019, p. 6), ocurriendo que al no tomar en cuenta las propiedades reales de los flujos es imposible considerar el impacto real de estos en el espacio, porque en muchos casos la influencia del espacio diseñado sobre los flujos peatonales esta sub estimada o completamente pasada por alto, generando condiciones donde los entornos construidos presentan una serie de problemas y defectos, que en algunos casos extremos pueden causar caos y saturaciones, lo que está presentado en el extracto de *"Research on Evacuation of Panic People Based on Optimal Control"*, al decir que con la aceleración



Figura 5: Fotografía interior de Mall de mediana escala, ejemplificado un espacio interior saturado con una orgánica de flujos peatonales caótica,  
Fuente: [www.newsroom.ucla.edu](http://www.newsroom.ucla.edu)





de la urbanización, los peligros potenciales para el público aumentan cuando ocurre un accidente, lo que hace que la seguridad de las personas se vea seriamente amenazada, conduciendo especialmente esto a que el modelado y control de multitudes sea mucho más importante que nunca, (Zhonghua & Yanyun, 2018, p. 1), incluso estas obras suelen quedar sub dimensionadas, generando cuadros frecuentes de ampliaciones sucesivas, o modificaciones a los espacios interiores, para satisfacer las demandas actuales.

Cualquiera sea el caso, las problemáticas enunciadas suelen ser más frecuentes, en la pequeña y mediana escala de proyecto (entendiéndose la pequeña escala hasta 2,500 m<sup>2</sup> y la mediana escala hasta 5,000 m<sup>2</sup>, basado en lo estipulado la Ley 20.071, Título II), ya sea porque la misma limita el campo de acción de las decisiones de arquitectura, el suelo y las normativas constriñen el diseño, hay una limitada disponibilidad de recursos, o bien el aumento sostenido de la población y del uso de estos proyectos nunca se consideró dentro de los parámetros del planteamiento original, complejidad adicional que se expresa en *"La simulación como herramienta de diseño y evaluación arquitectónica, paradigmas resueltos desde la ingeniería"* haciendo alusión a las distintas normativas presentes en la actualidad, *"En los últimos años la normativa (...) relacionada con las edificaciones está siendo actualizada y busca un mejor comportamiento ambiental de los edificios, además de una mejor gestión de los residuos de construcción y demolición. También, se propone limitar la demanda energética, el incremento del rendimiento de las instalaciones y se está orientando el diseño de los edificios a la eficiencia energética, así como a la introducción de energías renovables. Sin embargo, es necesario que el sector de la construcción realice un esfuerzo para llegar más allá de los requisitos normativos"* (Trujillo & Cubillos-González, 2016, p. 122). Caso contrario a lo que ocurre con proyectos de gran escala, donde los problemas relativos al tratamiento de flujos peatonales también son observables, pero son menos frecuentes, gracias a que los factores antes mencionados no resultan tan presentes y también en parte porque estos proyectos al poseer calidad de infraestructura están ya diseñados para durar al corto y medio plazo sin remodelaciones o ampliaciones. De este modo el foco de la problemática a tratar está abocado al ámbito de la pequeña y mediana escala donde estos problemas relativos al flujo peatonal resultan más comunes y la ejecución de estos proyectos representa la mayoría de los concretados en la actualidad.

Figura 6: Fotografías comparativas del espacio interior con programa similar de un proyecto de gran escala y uno de pequeña evidenciando lo mencionado anteriormente respecto de las constricciones del diseño según la escala del proyecto, Fuente: Fotografías de elaboración propia.



Sala de Embarque, Puerta N° 20 Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez, Santiago, Chile.



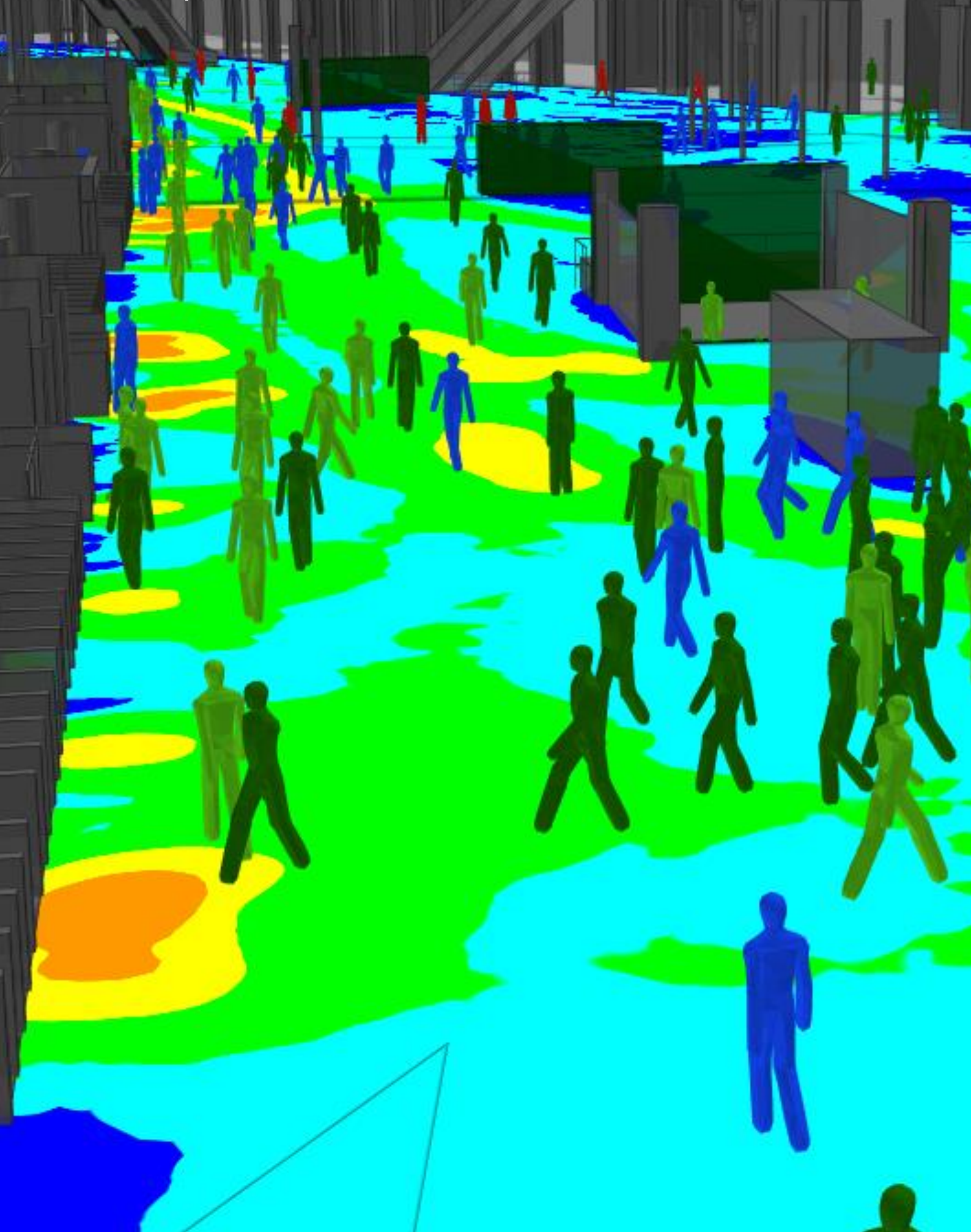
Sala de Embarque, Puerta N° 1, 2 y 3 Aeródromo Pichoy, Valdivia, Chile.

Respecto de la adición de capas de información, que trae la época actual al desarrollo de proyectos de arquitectura, muchas de estas capas suelen ser tratadas de manera digital, donde las tecnologías de este entorno a pesar de ser relativamente nuevas en el campo disciplinar, han jugado un rol clave en las últimas cinco décadas, toda vez que su incorporación al desarrollo de proyectos ha simplificados e incluso facilitado el quehacer del arquitecto, *"el componente digital implica varios sentidos que van desde la representación gráfica de la manifestación arquitectónica, hasta complejos medios de evaluación de los posibles componentes elementales de los sistemas arquitectónicos"* (Guzmán Mora & Calderón Stamatio, 2018, p. 294), logrando en algunos casos ampliar la capacidad del diseñador permitiéndole desarrollar trabajos más precisos y acorde a las necesidades de los proyectos. Así, el campo de la simulación digital se incorpora en la arquitectura, presentándose como una herramienta analítica, con capacidades predictivas, permitiéndole al proyectista obtener datos objetivos y fundados sobre el proyecto antes de estar construido, *"En términos de evaluación de recursos arquitectónicos, el diseño se puede sustentar en este tipo de herramientas como un medio (...), ahí la simulación discreta y continua pueden servir como herramienta de planeación para evaluar en el tiempo y por sucesos"* (Trujillo & Cubillos-González, 2016, p. 125), permitiendo esta tecnología superar la complejidad de análisis de las capas de información que se han agregado al desarrollo de proyectos de arquitectura conforme al avance de las necesidades contemporáneas, resultando entonces que la simulación digital ha abierto la puerta al proyectista de arquitectura para evaluar e integrar al desarrollo de proyectos variables de la naturaleza imposibles de analizar o predecir sin el apoyo de modelos digitales, como se expresa en *"Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions"*, al hacer alusión a la complejidad de analizar los flujos peatonales, ya que la compleja interacción de varios flujos peatonales puede conducir a resultados completamente inesperados, lo que es una consecuencia de su dinámica no lineal, por lo que la planificación de instalaciones peatonales con métodos convencionales no garantiza evitar atascos, obstrucciones o bloqueos, especialmente en situaciones de emergencia, (Helbing et al., 2005, p. 13), así la aplicación de tecnologías de simulación permitiría lograr proyectos más completos y acorde a las necesidades y/o desafíos que su entorno o habitantes requieran.



Figura 7: Imagen de una simulación peatonal desarrollada con el fin de analizar el comportamiento de multitudes de media densidad en espacios interiores, desarrollada en el Software Oasis Massmotion v. 9.8.,

Fuente: [www.oasisy-software.com](http://www.oasisy-software.com).



Este último punto es básico para comprender el por qué, sería necesario utilizar la simulación como herramienta para tratar la problemática de los flujos peatonales y su relación con el espacio diseñado, considerando que la simulación peatonal es una herramienta existente y que posee aplicaciones en el campo de la ingeniería, donde prácticamente no influye en el diseño del espacio, a pesar de poseer un potencial innegable para generar información mucho más exacta que las estimaciones normalmente utilizadas en la planificación de proyectos de arquitectura de mediana y pequeña escala, en pro de desarrollar diseños que en sus espacios de circulación consideren cabalmente las dinámicas y propiedades de los flujos peatonales.

## 2.2.- Pregunta de Investigación.

Teniendo en cuenta el fenómeno del aumento de los flujos peatonales en proyectos de arquitectura de pequeña y mediana escala, como un problema creciente, donde cada vez más la capacidad del proyectista se ve superada, dejando así, el uso de tecnologías de simulación peatonal como una herramienta potencial para abordar esta problemática con enfoque de arquitectura, este seminario de investigación desde el campo disciplinar de la arquitectura propone responder, *¿Cuál sería el impacto de la integración de herramientas de simulación peatonal como un apoyo en el proceso de toma de decisiones de arquitectura en proyectos de escala media y pequeña?*

## 2.3.- Objetivos de la Investigación.

### Objetivo General.

- **Identificar** el impacto que tendría la integración de la simulación peatonal como apoyo en el proceso de toma de decisiones de Arquitectura en proyectos de escala media y pequeña.

## Objetivos Específicos.

- **Determinar** las propiedades de los flujos peatonales y como estos se ven afectados por los entornos diseñados.
- **Indicar** las posibilidades que presenta la simulación peatonal en el análisis de flujos peatonales con enfoque de arquitectura.
- **Entender** las dinámicas peatonales presentes en un proyecto de escala pequeña, a través del análisis de una Obra.
- **Establecer** las bases para el desarrollo de una metodología que integre la aplicación de simulación peatonal con enfoque de arquitectura en el proceso de diseño de proyectos de escala media y pequeña.

## 2.4.- Supuestos.

En la producción arquitectónica actual la mayoría de los proyectos concretados son de mediana y pequeña escala, esta definición de pequeña y mediana escala también suele ser transversal a las distintas tipologías programáticas presentes en la arquitectura, como: edificios comerciales, administrativos, centros de transporte, conjuntos habitacionales, entre otros, además estos proyectos suelen estar presentes en la mayoría de los entornos urbanos, ya que por su naturaleza atienden a las necesidades de los habitantes y las comunidades, sin embargo y a pesar de ser estos proyectos tan relevantes en el desarrollo urbano, en su proceso de diseño rara vez incluyen una consideración de los flujos peatonales en toda su magnitud, particularmente en el tratamiento de circulaciones, así en estos casos se suele optar por un tratamiento simplificado de los flujos, en pro de otras variables y constricciones del diseño, donde suelen presentar problemas durante su ciclo de vida y operación, normalmente observables en condiciones de alta saturación, o en su defecto situaciones anómalas.

Ahora bien, el flujo peatonal se comprende como una masa de personas en movimiento, por lo cual el comportamiento individual de los integrantes de esta masa suele estar supeditado a los objetivos comportamiento de las masas de personas en el espacio de circulación de los proyectos, siendo del caso



Figura 8: Imágenes comparativas de los espacios interiores de distintas tipologías programáticas y su relación con las personas en movimiento,

Fuente: (Arriba) Elaboración Propia - (Abajo) [www.timesofisrael.com](http://www.timesofisrael.com).



Espacio Interior Hall Central Aeródromo Pichoy, Chile.



Espacio Interior Hall de Circulación Mall "In Disengoff", Israel.



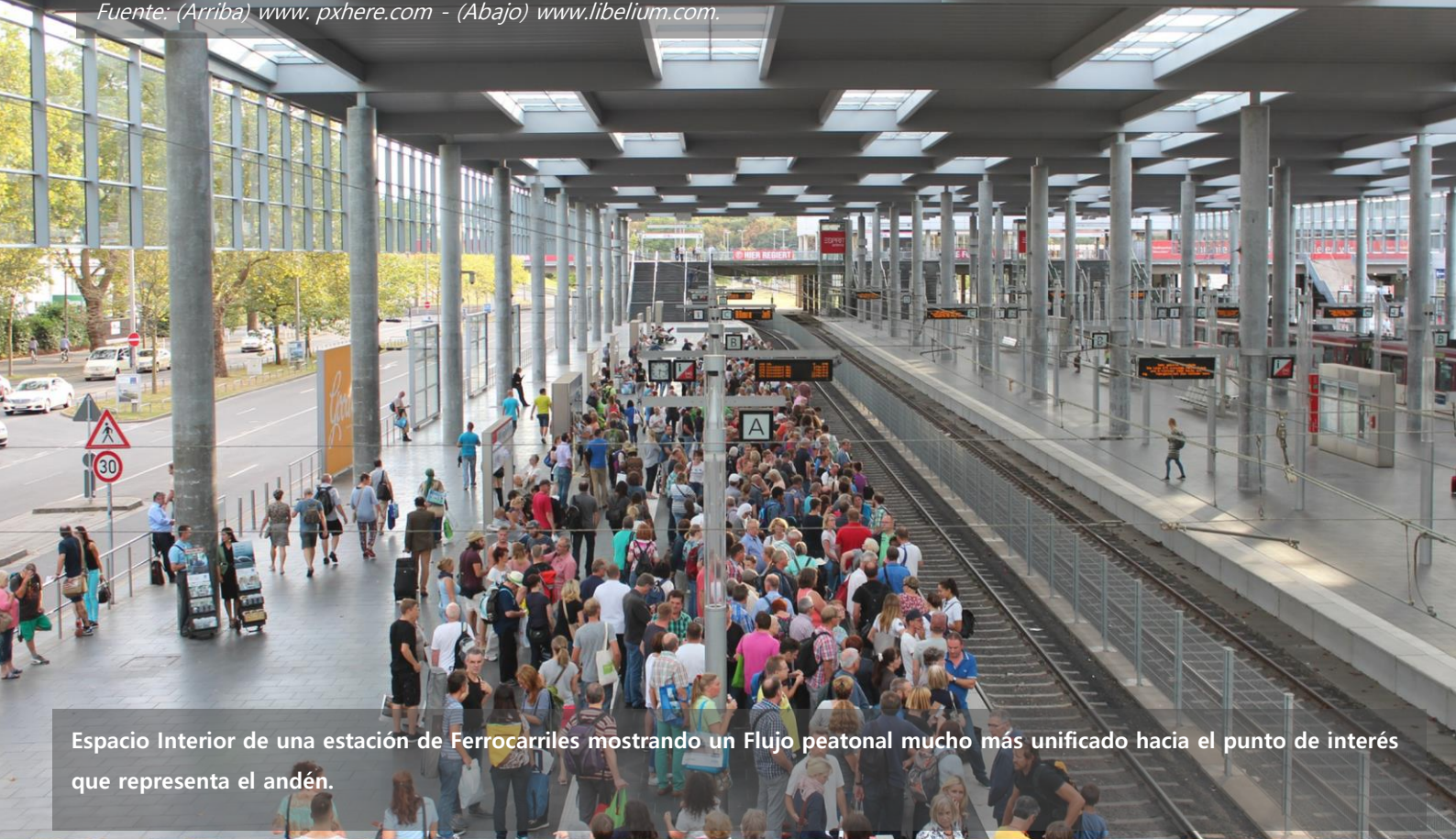
común de los individuos, por lo que depende de la tipología programática que tan cohesionado es el flujo patronal, lo que se traduce en lo que ocurre terminales de pasajeros donde esta cohesión sería más fuerte ya que los individuos están en movimiento en un mismo tiempo y lugar gracias a la necesidad de trasportarse, lo que configurara un objetivo común, sin embargo en proyectos como *"foyeres"* de conjuntos habitacionales verticales o centros comerciales, las necesidades individuales suelen ser tan diversas que no permiten la formación de grandes masas unificadas de personas, sino más bien generan grupos de individuos en movimiento, lo que no significa una ausencia de flujos peatonales, sino más bien que estos se encuentran más dispersos y desagregados tanto física como temporalmente.

Sin duda el flujo peatonal al ser un grupo de personas en movimiento, presenta propiedades diversas, las que comúnmente complejizan su análisis a un grado en el cual la incertidumbre es demasiado alta como para proyectar con ella, así el análisis de estos flujos de personas se suele hacer con métodos subjetivos muy simplificados, considerando casi solamente las rutas de desplazamiento, donde se conecta de origen a destino, considerando vagamente la repercusión real del espacio diseñado en las masas de personas.

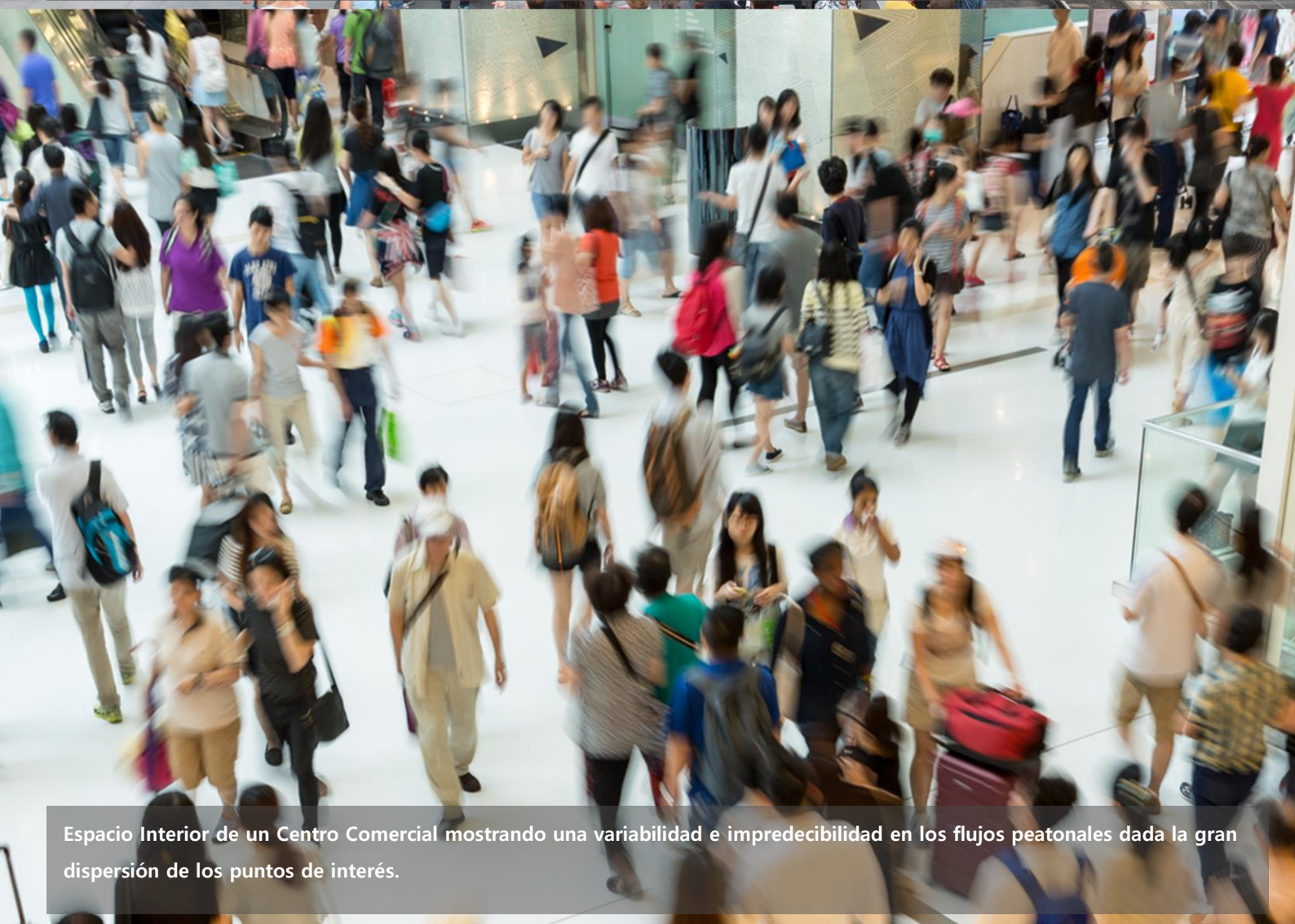
Este problema de incertidumbre a la hora de proyectar está ya parcialmente resuelto, lo que no es equivalente a que su solución sea realmente aplicada con el enfoque disciplinar de la arquitectura, ya que a pesar de que la simulación digital provee soluciones analíticas a distintos fenómenos de la naturaleza, incluyendo las masas de personas, en este último caso dicha tecnología no se aplica casi en el entorno disciplinar, ya que ha sido más adoptada por la ingeniería en un rol enfocado a la comprobación y al análisis de situaciones particulares como emergencias y saturaciones extremas, pero no a la operación normal de los proyectos, lo que deja la puerta abierta al desarrollo de metodologías que integren estos sistemas con el fin de diseñar el espacio utilizando datos predictivos y analíticos desde el desarrollo arquitectónico.



Figura 9: Imágenes comparativas de lo expuesto relativo a la cohesión del flujo peatonal respecto de la tipología programática y los puntos de interés,  
Fuente: (Arriba) [www.pxhere.com](http://www.pxhere.com) - (Abajo) [www.libelium.com](http://www.libelium.com).



Espacio Interior de una estación de Ferrocarriles mostrando un Flujo peatonal mucho más unificado hacia el punto de interés que representa el andén.



Espacio Interior de un Centro Comercial mostrando una variabilidad e impredecibilidad en los flujos peatonales dada la gran dispersión de los puntos de interés.



## 2.5.- Propuesta Metodológica.

La presente investigación busca establecer las bases para el desarrollo de una metodología de trabajo en la cual se integre la simulación peatonal al proceso de la toma de decisiones de diseño en proyectos de mediana y pequeña escala. Para establecer estas bases, primero fue necesario determinar las propiedades del flujo peatonal presentándolo como un fenómeno en la arquitectura para entender como estas permiten la interacción de los flujos peatonales con el espacio diseñado, estableciendo así ciertos parámetros relevantes a la hora de simular los proyectos de arquitectura. Paralelamente fue necesario también indicar las posibilidades que presenta la simulación peatonal en el análisis de flujos con enfoque de arquitectura, para entender el entorno que se prestara como el soporte en el cual se basa la orgánica de la simulación y como se puede operar con esta orgánica en un entorno de arquitectura.

Para lograr lo antes mencionado se desarrollará un examen teórico de las investigaciones realizadas al campo de los flujos peatonales, buscando establecer las propiedades básicas del flujo peatonal y del movimiento de masas, en espacios interiores, profundizando también el desarrollo de estas variables y revisando estudios sobre la materia con el fin de establecer las propiedades de este fenómeno. Posteriormente se pretende describir el método de trabajo que la arquitectura plantea para el tratamiento de flujos peatonales, buscando entender de manera más profunda la solución al diseño y planificación tanto de flujos como de circulación en la escala media y baja. Finalmente se pretende concluir el análisis teórico del fenómeno de los flujos peatonales con la descripción de las complejidades del análisis de ellos con un enfoque de arquitectura y de los problemas existentes relativos a estos a fin de entender los desafíos que presenta la toma de decisiones respecto del flujo peatonal. En paralelo se estudiará el concepto de simulación digital presentando esta tecnología desde su espectro conceptual con el fin de entender su funcionamiento y desarrollar de mejor manera su evaluación. Posteriormente se buscará comprender la simulación peatonal en específico con un enfoque de arquitectura, a fin de explicitar sus posibilidades como una herramienta valida de aplicar en el entorno de trabajo del desarrollo de proyectos

de arquitectura. Finalmente, este análisis concluirá con la selección de una herramienta de simulación peatonal en específico, estableciendo que para el desarrollo de la etapa de ejemplificación práctica de esta tecnología se tomarán 3 ejemplos abstractos, buscando enunciar las prestaciones tanto de la herramienta en general como del programa seleccionado, en específico en preparación para la etapa experimental sobre un caso de estudio existente en la realidad.

El desarrollo de la etapa experimental de esta investigación se centrará en la presentación, análisis y prueba de un caso de estudio que se encuentra entre las escalas media y pequeña correspondiente al *"Proyecto de la Terminal de pasajeros del Aeródromo Pichoy"*, emplazado en la comuna de Mariquina a 33 kilómetros al norte de la Ciudad de Valdivia, Chile, tomándose como criterios para su selección como caso de estudio los especificados en el punto "1.6". Esta etapa se iniciará utilizando la información recopilada del caso para desarrollar un análisis respecto de los espacios de circulación y los datos que el proyecto presenta respecto del tráfico de personas, cuyo objetivo es construir una simulación de control con el fin de comprobar la capacidad de la herramienta de ser predictiva en el caso particular del proyecto. Los datos de esta simulación se contrastarán con la observación de campo en condiciones similares a las planteadas en la simulación de control por lo que una vez completada esta etapa de comprobación se someterá el caso de estudio al análisis a través de la simulación de distintos escenarios, los cuales pondrán a prueba factores previamente determinados en el capítulo primero de esta investigación de modo que se podrán generar valores aun si los proyectos no hubiesen sido concretados con el fin de entender las posibilidades de integración de la simulación peatonal en el proceso de diseño de arquitectura para finalmente comprobar la efectividad del uso de estas herramientas tomando una sección del proyecto y mejorándola utilizando para ello los datos de la simulación y las constricciones propias de cada obra con el fin de establecer los procesos y condiciones que permitan desarrollar las bases de una metodología de trabajo que integre la simulación peatonal en proyectos de escala media y pequeña.

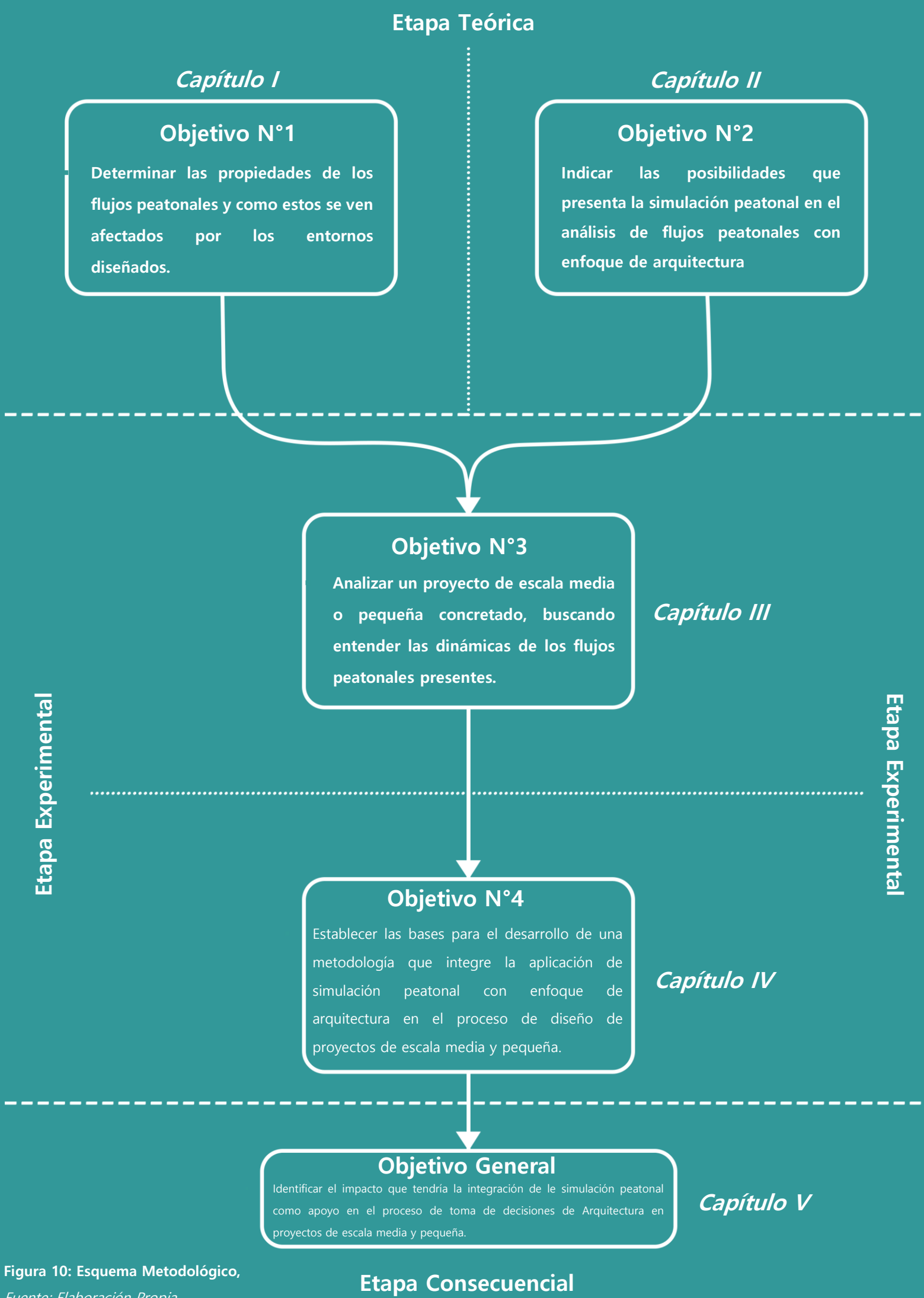


Figura 10: Esquema Metodológico,  
Fuente: Elaboración Propia.

## 2.6.- Definición dl Caso de Estudio.

Para la definición del caso de estudio se consideraron distintos factores relativos a las condiciones del proyecto a analizar, en principio el seleccionados debía ser de mediana a pequeña escala, construido entre los años 1990 y 2018, descartándose todos aquellos en etapa de estudio, planificación y construcción, ya que, como se mencionó en el punto anterior, se requiere que los proyectos seleccionados puedan ser observables en funcionamiento y contrastadas sus dinámicas peatonales con la simulación de control. Además, el proyecto seleccionados para ser caso de estudio debe estar en el marco de aquellos destinados a la circulación de cantidades considerables de personas, no obstante la investigación enfocarse en proyectos de arquitectura en general, además deben estar orientados en su mayoría, al tránsito de personas y no a la permanencia media y prolongada, considerando estos proyectos como habitacionales y de servicio público por lo que no serían representativos y consecuentemente obstan para ser seleccionados como casos de estudio, resultando ideales para el desarrollo de esta investigación los proyectos comerciales y de transporte. A lo anterior de adicionarse como factor determinante que el espacio del proyecto a analizar esté lo suficientemente acotado, con salidas y entradas definidas, a el fin de dar cabida a los requerimientos para la construcción de una simulación, además los puntos de interés interno del proyecto tendrán que estar bien definidos, evitando las ambigüedades y complicaciones en el proceso de interpretación del software de simulación. Resulta otra consideración importante a la hora de realizar la selección del casos de estudio la existencia de información estadística respecto de la circulación y comportamiento de las personas al interior de estos proyectos, donde se especifiquen datos como máximos y mínimos de ocupación al unísono, registro histórico de ocupación, desglose por horarios de la ocupación del proyecto y la posibilidad de realizar registros fotográficos del interior en distintos momentos de la operación regular del edificio.

Finalmente, luego de evaluar distintos proyectos, se concluye que el más idóneo para el desarrollo de la investigación es *"El proyecto de la terminal de pasajeros del Aeródromo Pichoy"* de la Ciudad de Valdivia, Chile.

Figura 11: Emplazamiento Territorial del Caso de Estudio,

Fuente: Elaboración Propia.

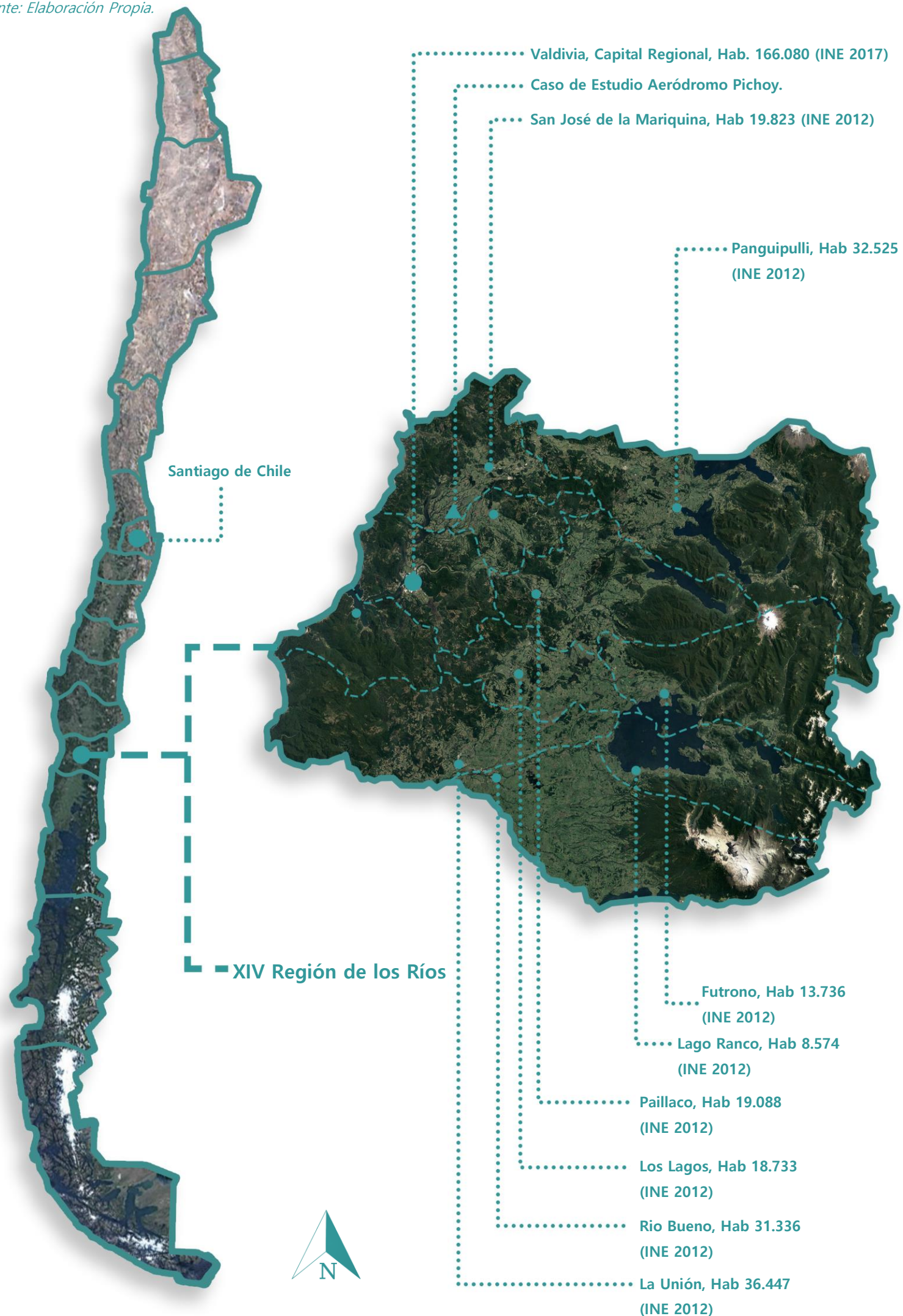




Figura 12: Imágenes comparativas del emplazamiento del caso de estudio y su fachada principal,  
Fuente: (Arriba) DAP Los Ríos - (Abajo) Elaboración Propia.



Área de desarrollo de la Investigación.

Imagen Aérea del emplazamiento de la Terminal Resaltado a Color.



Imagen de la Fachada de la Terminal de Pasajeros y del acceso peatonal.

# 3.- Capítulo I, Flujos Peatonales en la Arquitectura.

3.1.- El Fenómeno de los Flujos en la Arquitectura.

3.2.- Propiedades y Dinámicas de los Flujos Peatonales.

3.3.- Tratamiento de los Flujos Peatonales en la Arquitectura.

3.4.- Complejidades del Análisis y diseño de los Flujos Peatonales.

3.5.- Problemas relativos a los Flujos Peatonales en la Arquitectura.



### 3.1.- El Fenómeno de los flujos en la Arquitectura.

El proyecto de arquitectura es la resultante de la combinación de una serie de variables aplicadas al diseño, las que si bien en general son elementos materiales con expresiones físicas y tangibles, consideran otro grupo de variables que no tienen esta expresión concreta y que suelen tener un peso mayor en el campo conceptual para el desarrollo del proyecto, así lo presenta Altuzarra, *“La materia se revela a partir de principios físicos, de recursos técnicos y de la expresión sensible de lo percibido”* (ALTUZARRA, 2015, p. 101), una de estas variables es el flujo peatonal el cual se configura como un fenómeno dentro del campo disciplinar de la arquitectura.

Consecuentemente y antes de establecer condiciones, variables, parámetros, propiedades, e incluso ocurrencia, es necesario establecer el por qué se denomina el fenómeno de los flujos peatonales en arquitectura y no de otra forma, así primero hay que entender el concepto general de un fenómeno, el cual es un acontecimiento que de una u otra forma puede ser material o inmaterial, pero que en cualquier caso debe ser percibido por los sentidos o el intelecto, *“Toda manifestación que se hace presente a la conciencia de un sujeto y aparece como objeto de percepción”* (Bernal-Leongómez, J Vergara-Silva, J & Cruz-Espejo, 2014, p. 4130).

Resulta entonces posible rastrear la ocurrencia de este fenómeno desde los albores de la cultura humana, de este modo los primeros ejemplos observables de entornos donde el fenómeno de los flujos se manifestó de manera marcada y con cierta fuerza fue en los ejemplos clásicos de la arquitectura religiosa presente en las antiguas civilizaciones, tales como Mesopotamia, Egipto, Grecia y más recientemente Roma, con manifestaciones concretas como por ejemplo los Jardines Colgantes de Babilonia datados en el Siglo VI a.C., los complejos de templos desarrollados en torno a la figura arquitectónica de las pirámides, plazas, anfiteatros y templos dentro de los cuales destaca el Acrópolis en Grecia y múltiples ejemplos romanos como el Anfiteatro Flavio, conocido como el Coliseo de Roma, los Baños Romanos, el Circo Romano, templos, palacios e incluso desarrollos urbanísticos como el Foro Romano, todos elementos donde el carácter principal independientemente de su tipología programática



Figura 13: Imágenes comparativas de distintas obras de arquitectura de la antigüedad destinadas al tránsito y circulación de personas, Fuente: (Arriba) [www.youtube.com](http://www.youtube.com) - (Abajo) [www.escapesporelmundo.com](http://www.escapesporelmundo.com).



Reconstrucción digital del Foro Romano resaltando las personas en el Espacio.



Fotografía Interior de Acceso principal del Templo de Luxor, Egipto, resaltando las personas en el espacio.

estaba en función de la mantención, contención y dirección de grupos de personas en su interior, más allá de ejemplificaciones concretas, la manifestación de flujos peatonales es un fenómeno que a pesar de no sea evidente a simple vista está muy internalizado en el inconsciente humano al grado que, a pesar de ser un fenómeno íntimamente ligado con el espacio construido, este es apreciable incluso en la producción intelectual y artística de muchas culturas a lo largo del mundo.

Saliendo del entorno clásico, la arquitectura occidental presenta la transversalidad de este fenómeno que suele ser mucho más extendido, tomando en cuenta los cánones de evolución del mundo occidental, pudiendo pensarse que los flujos solo se dan como manifestación una vez llegado los grandes procesos de urbanización del siglo XIX pero un examen más acucioso de la producción arquitectónica distinta de la corriente clásica occidental revela que la conciencia sobre este fenómeno está presente en casi todas las culturas sedentarias del mundo, partiendo desde expresiones primarias del Medio Oriente, Asia Menor y el Sudeste Asiático las que ya manifestaban en su arquitectura relativa a los templos, decisiones en función de la cantidad y la dirección de los peregrinos, siendo un ejemplo concreto de esto los templos de *"Angkor Wat"*, capital del Imperio Jemer en la actual Camboya, así proyectos con manifestaciones como este, donde se presenta una expresión de tratamiento de circulaciones y permanencias, son apreciables también por toda Asia y lugares de la América Precolombina, a pesar que en estos últimos casos el desarrollo de la arquitectura enfocada a los espacios interiores no era central porque para tales culturas el desarrollo urbano es una expresión más del tratamiento de flujos peatonales, siendo un ejemplo de aquello el desarrollo de la trama urbana de Teotihuacán la cual no obstante tener fines ceremoniales y comerciales expresa una sensibilidad por el tránsito de las personas, *"La ciudad se divide en dos ejes: La Avenida de los Muertos como eje Norte-Sur, con edificios político-religiosos (ambas pirámides) y la Avenida del Este como eje Este-Oeste, con la Ciudadela y la Plaza del Mercado"* (López, 2014, p. 9).

Dejando de lado los dechados de la antigüedad y retomando el curso clásico de la arquitectura occidental ejemplos de esta sensibilidad por los flujos peatonales en el diseño se dan en desarrollos urbanos de la zona del Medio Oriente y el Norte de África junto con áreas de la Península Ibérica donde



Figura 14: Imágenes comparativas de distintas obras de arquitectura de la antigüedad destinadas al tránsito y circulación de personas, Fuente: (Arriba) [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) - (Abajo) [www.oasishoteles.com](http://www.oasishoteles.com).



Fotografía del acceso principal del Templo Angkor Wak, Camboya evidenciando espacios destinados y pensados para la circulación de grandes masas.



Fotografía de la Calzada de los Muertos de Teotihuacan, México, resaltando el espacio de circulación y su carácter de tránsito de personas.



el Islam fue uno de los impulsores de un tratamiento más formal en la arquitectura de la concentración de masas y flujos peatonales, muestra de esto son los grandes atrios configurados por Mezquitas adyacentes a mercados distribuidos desde los páramos septentrionales de la Península Ibérica hasta los límites del Imperio Bizantino en Oriente, así lugares como La Meca surgen como modelos de una arquitectura consciente de los flujos y las masas.

Paralelamente en la Europa medieval y renacentista el fenómeno de los flujos y masas de personas fue tomado más por la arquitectura religiosa y no tanto por el desarrollo de edificios, palacios o tramas urbanas, así este tratamiento de los flujos peatonales en la arquitectura religiosa occidental cristiana fue grácilmente refinado y tratado, configurando en el interior de las iglesias y catedrales más importantes, recorridos, permanencias y estancias las que en su mayoría estaban abocadas a la circulación de peregrinos y fieles.

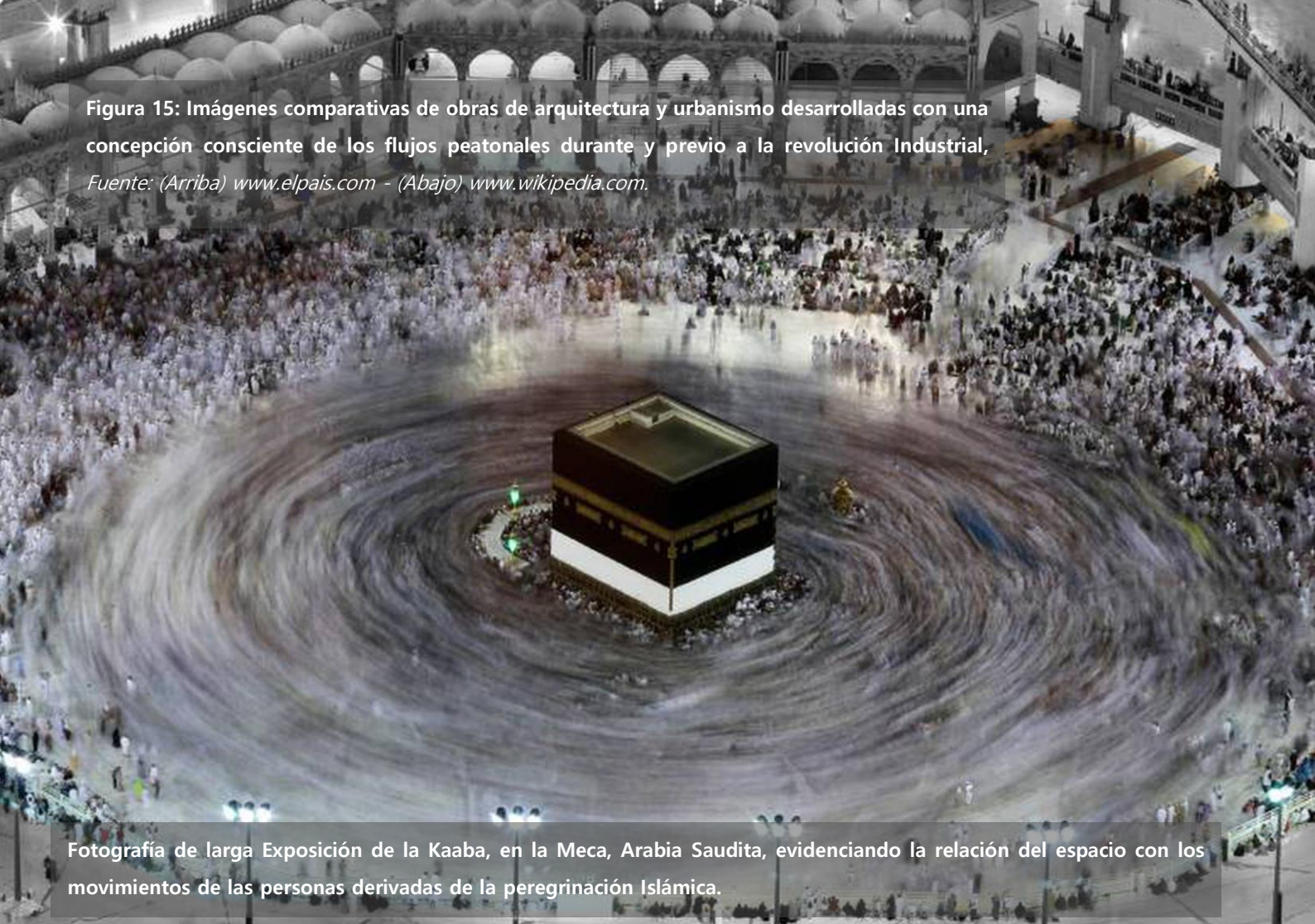
En adelante, el surgimiento del renacimiento europeo fue un punto en el cual el desarrollo arquitectónico y a su vez, el tratamiento de flujos peatonales, agregó otro tipo de construcciones tales como mercados y plazas, así se configuraron edificios comerciales con vacíos interiores destinados a bazares y ferias, también comunes en oriente y plazas destinadas a la circulación y concentración de personas en Europa, consiguiente a esto el próximo avance más significativo en el tratamiento de flujos vino de la mano del padre del urbanismo moderno el Barón Haussmann y la renovación de la trama urbana de París donde más allá de que los motivos de la remodelación fueron relativos al orden público estos también trajeron consigo nuevas formas de tratar los flujos peatonales en la ciudad que de alguna forma sirvieron de inspiración para escalas más pequeñas, *"Los tiempos de la remodelación de París por Haussmann podrían considerarse como un primer periodo de imposición del orden urbanístico sobre la vida urbana, estableciendo sino un consenso, al menos un modelo casi hegemónico en sus principios de organización de la ciudad y la manera de construirla (Harvey, 2008). Los rasgos de este nuevo orden urbano, pueden resumirse en la primacía de la circulación"* (rubén pallol, 2019, p. 11).

Ahora bien, uno de los puntos críticos en el desarrollo del estudio de los flujos peatonales es la incursión del ser humano en los tiempos modernos encabezados por la primera y la segunda revolución



Figura 15: Imágenes comparativas de obras de arquitectura y urbanismo desarrolladas con una concepción consciente de los flujos peatonales durante y previo a la revolución Industrial,

Fuente: (Arriba) [www.elpais.com](http://www.elpais.com) - (Abajo) [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com).



Fotografía de larga Exposición de la Kaaba, en la Meca, Arabia Saudita, evidenciando la relación del espacio con los movimientos de las personas derivadas de la peregrinación Islámica.



Fotografía Aérea de la Avenida de los Campos Elíseos, París Francia, elemento urbano derivado de la remodelación de París del S. XIX bajo la lógica Hausmaniana, considerando en su diseño el tránsito de las personas por el espacio público.



industrial, el aumento de la población debido a la baja de la mortalidad y la migración del campo a la ciudad, de este modo estos factores empezaron a gestar cada vez más la ocupación de las tramas urbanas y los proyectos ya concretados surgiendo así en esta época tipologías programáticas nunca antes vistas en la historia de la humanidad y que al día de hoy son emblemas típicos de las grandes masas de personas y flujos peatonales, de modo tal que entornos como estaciones de ferrocarriles, teatros de proporciones, grandes complejos industriales y mercados que superaban por mucho la extensión de lo que antes se conocía de ellos fueron puntos donde la arquitectura tuvo que plantearse de manera consciente y no tan intuitiva las rutas y dinámicas del peatón, así el fenómeno de los flujos peatonales fue integrado a la arquitectura ya no como una secuencia instintiva inherente al inconsciente colectivo sino que más bien, como una variable más en el desarrollo de los proyectos.

El avance tecnológico, social y cultural desencadenado a finales del Siglo XIX y principio del Siglo XX, denominado hoy en día como los inicios de la era Contemporánea, trajo consigo una integración definitiva para el fenómeno de los flujos peatonales, gracias a la aparición de grandes infraestructuras tales como aeropuertos, terrapuertos, estaciones ferroviarias, estaciones de metro, centros comerciales entre otros proyectos además de edificios y construcciones de pequeña y mediana escala como estaciones de transporte suburbana, instituciones y gobernaciones locales, edificios comerciales medios y pequeños o desarrollos urbanísticos de ciudades en crecimiento, todos tipologías programáticas y avances proyectuales, que hasta la actualidad presentan patrones refinados de los establecidos en ese entonces y relativos al tratamiento de los flujos peatonales.

Resulta entonces que el flujo peatonal se establece como un acontecimiento que subyace a la naturaleza de los proyectos de arquitectura, donde es fácilmente ubicable en el caso de casi cualquier manifestación del espacio construido por el hombre, lo que implica que este fenómeno sea un elemento generalizado en todo el campo de la arquitectura.

De este modo el fenómeno del flujo peatonal se establece como una variable particular, a pesar de no tener una expresión física tan clara esta suele afectarse por la morfología del espacio diseñado y viceversa, donde su motor de expresión es el movimiento de las personas en el espacio, lo que causa



Figura 16: Imágenes comparativas de obras de arquitectura y urbanismo desarrolladas con una concepción consciente de los flujos peatonales durante la revolución Industrial y el Movimiento moderno,  
Fuente: (Arriba) [www.wikimedia.com](http://www.wikimedia.com) - (Abajo) [www.askideas.com](http://www.askideas.com).

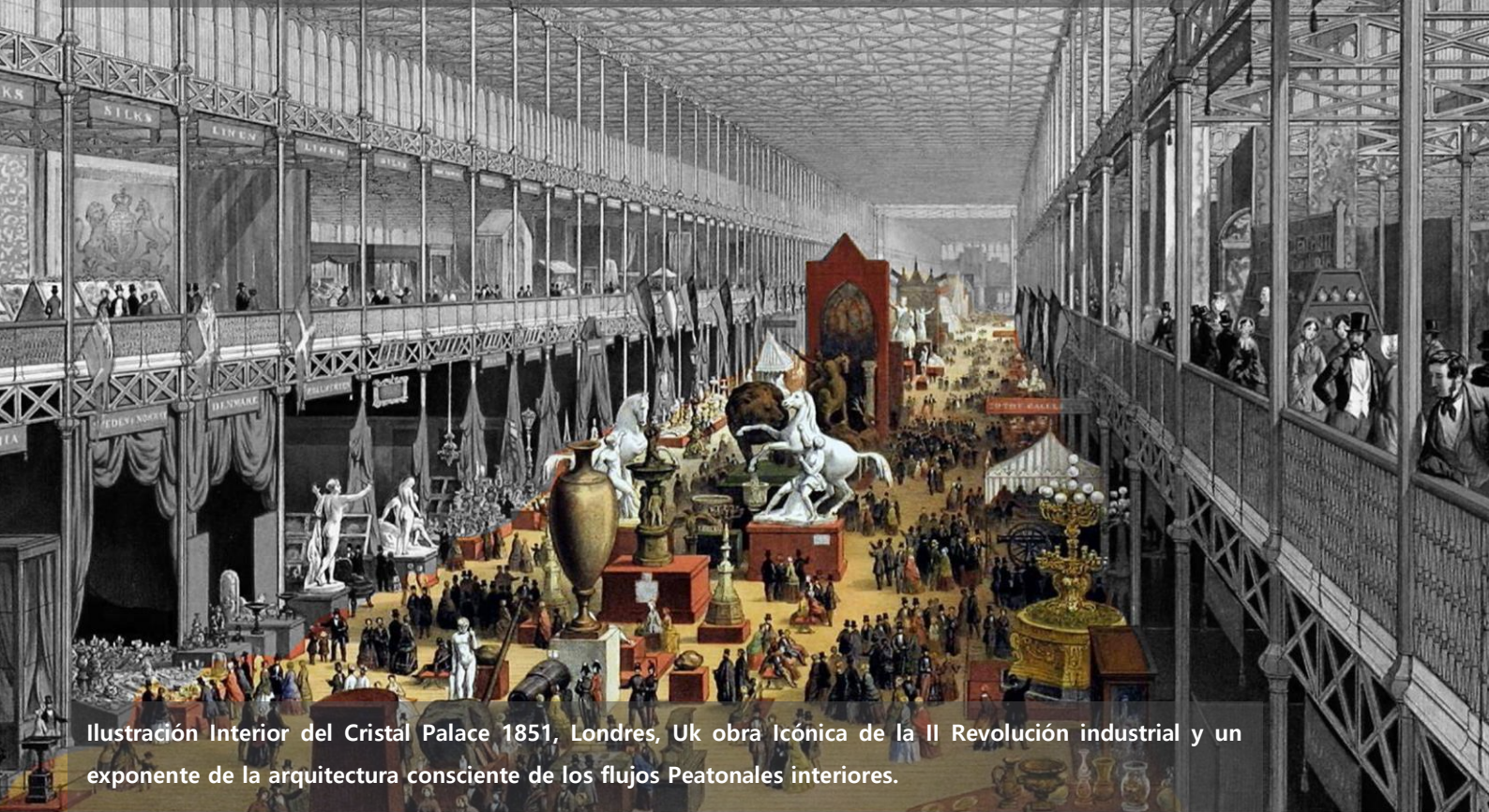
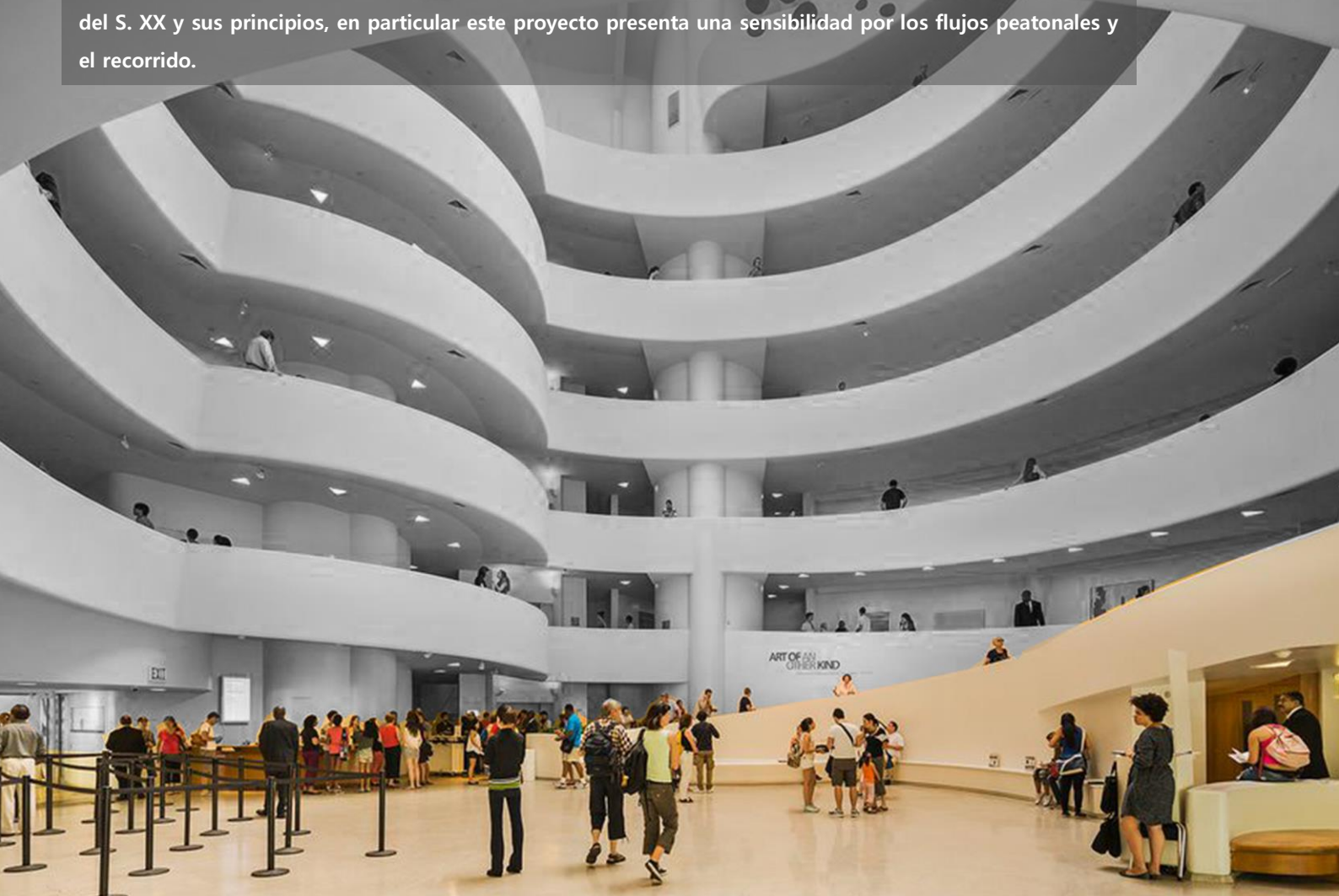


Ilustración Interior del Cristal Palace 1851, Londres, Uk obra Iónica de la II Revolución industrial y un exponente de la arquitectura consciente de los flujos Peatonales interiores.

Fotografía Hall de accesos Museo Guggenheim, Nueva York, US, proyecto icónico del Movimiento Moderno del S. XX y sus principios, en particular este proyecto presenta una sensibilidad por los flujos peatonales y el recorrido.



normalmente que no sea evidente al observador no entrenado, así para comprender un poco más sobre la naturaleza del fenómeno de los flujos peatonales hay que profundizar en su esencia básica, la que radica en el comportamiento grupal del ser humano, el cual tiene patrones y propiedades muy concretas pero que son difíciles de predecir y proyectar, debido a factores que contribuyen a cierto nivel de incertidumbre, tratándose de un complicado proceso de toma de decisiones, en el que los peatones perciben y evalúan su entorno, deciden su estrategia y la adaptan en consecuencia si es necesario, siendo posible que el comportamiento de los peatones no siempre se base en un simple proceso de estímulo-respuesta, sino que también puede estar fuertemente relacionado con factores humanos caracterizándose los flujos de peatones por un grado significativo de aleatoriedad, (Eleonora Papadimitriou, George Yannis, 2009, p. 2).

El flujo peatonal entonces al estar conformado por un conjunto de personas en movimiento en el espacio, presenta condiciones que dependen de los individuos y sus compartimentos, así el desplazamiento suele estar desencadenado por puntos o áreas de interés para los ocupantes del espacio y el cómo estos transitan a través de él esquivando los obstáculos que presenta, de este modo se conforman masas de personas que supeditan su comportamiento individual en función de los objetivos comunes a los cuales este conjunto de individuos apunta lo que hace referencia a fenómenos de autoorganización descritos por Helbing et. al. la autoorganización significa que estos patrones no están planificados, prescritos u organizados externamente, por ejemplo, mediante señales de tráfico, leyes o convenciones de comportamiento sino que en cambio, los patrones espacio-temporales surgen debido a las interacciones no lineales de los peatones resultando estas interacciones más reactivas y subconscientes que las basadas en consideraciones estratégicas o de comunicación, (Helbing et al., 2005, p. 4), por ejemplo en el caso de una terminal de pasajeros o una estación de metro, el interés común de los individuos que conforman la masa en movimiento es acceder al medio de transporte, donde por lo tanto las personas presentes en este entorno se desplazarán y moverán a través del espacio buscando la manera más eficiente de alcanzar este objetivo, así el afán individual de velocidad y eficiencia en el desplazamiento se combina con el deseo de los demás de lograr lo mismo, configurando interacciones entre las rutas de las personas, las que de una u otra forma deben iniciar en un mismo lugar y terminar



Figura 17: Fotografía del espacio de acceso a una estación contemporánea del metro de Londres, esta imagen evidencia lo anteriormente descrito sobre la impredecibilidad y caos de los flujos peatonales, Fuente: [www.walpaperfire.com](http://www.walpaperfire.com).





en un mismo destino, así en casos como este, el tipo de flujo peatonal es muy cohesionado, más allá de las condiciones particulares de cada individuo, donde la interacción de las rutas suelen generar puntos de tránsito similares al caudal de un río, caso contrario a lo que ocurriría en la planta de un centro comercial, donde el entorno presenta distintos puntos de interés moviéndose los individuos en el espacio de manera menos cohesionada persiguiendo sus fines particulares, lo que ocasionara a diferencia del ejemplo anterior, que sus rutas de circulación se interfieran y crucen obstaculizándose entre sí, conformando una dinámica de flujos diametralmente opuesta a la anterior, donde el choque de las múltiples rutas y masas de personas, configuran entornos con flujos peatonales turbulentos y caóticos, pero que aun así comparte sus propiedades elementales.

## **3.2.- Propiedades y dinámicas de los flujos Peatonales.**

Ahora bien, los flujos peatonales dada su naturaleza relativa al comportamiento humano poseen una serie de propiedades, características y dinámicas, que suelen ser más profundas que las que se trabajan en arquitectura, esto es una expresión de la base fundamental de los flujos, la cual es un grupo de dos o más personas en movimiento en un espacio determinado, en el modelado de multitudes, un "grupo de peatones" se usa a menudo para referirse a un grupo de peatones, es decir, un grupo de personas que se mueven juntas (Adrian et al., 2019, p. 5).

Así, en la conceptualización de arquitectura en general, el flujo peatonal se trabaja con un mecanismo de análisis simplificado donde los flujos propiamente tales suelen ser representados como una o más líneas de origen a destino, pero al estar compuesto por una serie de personas no puede ser más errado el comprenderlo como una línea, ya que dentro de la definición geométrica de una línea, esta se entiende como una infinita cantidad de puntos entre dos puntos generatrices, siendo el denominado punto un elemento geométrico que no tiene profundidad, altura, ancho, contrario a lo que es el conjunto de personas, resultando que esta forma de ver los flujos en la arquitectura suele pasar por alto las demás propiedades y dinámicas del flujo peatonal, dejando de lado la enorme complejidad que este tiene, es así como la predicción de caminos peatonales sigue siendo un problema complejo,

Figura 18: Fotografía de un espacio de circulación con un tráfico de personas bidireccional donde se observa las reales dimensiones de una multitud en movimiento y de las interacciones Humano - Humano,  
*Fuente: [www.siencefrayday.com](http://www.siencefrayday.com).*





correctamente estas dinámicas lo primero que se debe entender, es el como una persona se mueve en el espacio, en principio una persona navega en el espacio desde un origen a un destino, considerando esta ejemplificación en un plano conceptual y abstracto, de este modo el individuo buscara desplazarse hasta su destino a través del camino más rápido y eficiente posible, lo que se describe como proceso de toma de decisiones en cuanto a la ruta óptima entre un origen y un destino sea fijo o no, (Eleonora Papadimitriou, George Yannis, 2009, p. 3), sin embargo cuando se aumenta la cantidad de individuos en el espacio, estos al poseer dimensiones físicas empiezan a interactuar con los límites, obstáculos y los demás partícipes, generando una nube de rutas que se traducen en una versión primigenia de los flujos.

Ahora bien, en el espacio físico, el comportamiento de las personas suele estar ligado a múltiples factores, pero en general se pueden considerar que, los límites del espacio, puntos de origen, destino e interés, obstáculos y otras personas en movimiento son algunos de los factores más determinantes a la hora de establecer el comportamiento de los flujos, ahí ésta variabilidad se expresa también en "*A Literature Review on the Prediction of Pedestrian Behavior in Urban Scenarios*", donde se apela al contexto urbano mencionado, para señalar que ciertos factores externos pueden influir en la toma de decisiones y los patrones de movimiento del peatón, como el ancho de la calle, estar solo o en grupo, (Ridel et al., 2018, p. 3108), también en cuanto a las dinámicas de estos se pueden establecer paralelismos en torno al comportamiento de las personas en desplazamiento y el movimiento de un fluido, sobre la base que se consideren las diferencias elementales entre un grupo de personas y las partículas que componen un fluido, así dentro del entorno de este paralelismo se puede mencionar que el flujo tiene propiedades como caudal, periodo, velocidad, entre otras, resultando que este paralelismo está fundamentado en el desarrollo del mecanismo de análisis macroscópico para flujos peatonales "*SPH*", donde se plantea que cada partícula representa una masa finita del continuo discretizado y, como tal, posee propiedades materiales como densidad y velocidad y se mueve de acuerdo con las leyes de conservación de masa y aceleración para determinar cómo evolucionan las propiedades materiales de cada partícula dada a lo largo del tiempo, (Yuan et al., 2020, p. 337), pero que a diferencia de las



Figura 19: Fotografía de un espacio de circulación público donde se evidencia la relación que tiene los peatones con los factores de su entorno, resaltando en azul las rutas realizadas y en rojo punteado las rutas previstas,

Fuente: [www.theconversation.com](http://www.theconversation.com).



partículas, los flujos de personas no se ven afectados respecto del destino en su interacción con otros flujos, sino más bien, ven alteradas sus rutas y velocidades, lo que desata efectos en cadena dentro de estos, generando comportamientos grupales en las personas que al tener objetivos comunes tienden a supeditar su comportamiento a uno colectivo, lo que se refleja en que el comportamiento de pastoreo, esto se refiere a individuos que están influenciados por el comportamiento del grupo y abandonan sus puntos de vista personales para volverse consistentes con el comportamiento de la mayoría, dicho comportamiento de pastoreo es completamente ciego y el peatón no tiene un líder exacto a quien seguir, (Ding et al., 2021, p. 6), así hay patrones definidos en esta dinámica de masas que suelen ser observables en escalas amplias con grandes cantidades de personas pero que en escalas más pequeñas también se pueden percibir pero con mayor dificultad, estas dinámicas serían:

- **1.-** La separación de las vanguardias en grupo de personas con una única dirección, fenómeno que hace referencia a lo descrito en la literatura como un comportamiento de masas observable en multitudes personas que a pesar de estar confinadas lateralmente y de mantener una velocidad aparentemente estable estas empiezan a aumentar la distancia entre individuos en la parte frontal y a reducir esta distancia en las partes posteriores de la masa en movimiento, lo que se debe a la interacción de los distintos individuos donde la acumulación de pequeñas variaciones en la velocidad desencadena una reducción de la velocidad habitualmente en los dos tercios posteriores de la masa, apreciándose como una aparente separación de los individuos al frente de esta, es de este modo que los demás peatones siguen así el proceso que se asemeja a la disolución de una fila, (Yuan et al., 2020, p. 341).
- **2.-** La dispersión horizontal de las personas en espacios no confinados se refiere a un comportamiento normalmente observable en entornos donde no existe un confinamiento directo de las masas de personas en movimiento, aquí la distancia entre individuos se empieza a acrecentar, mientras la masa se desplaza por el espacio, gracias en parte a las particularidades físicas de cada uno, pero también derivado del fenómeno del distanciamiento entre personas, la dispersión de la densidad en espacios amplios, un fenómeno clave observado en multitudes reales, (Yuan et al., 2020, p. 341).

Figura 20. Imágenes Ilustrativas de las dinámicas N°1 y N°2 antes mencionadas, ambas tomadas en el cruce Shibuya, Tokyo, Japon

Fuente: (Ambas) [www.youtube.com](http://www.youtube.com).



2.

Trazados desarrollados por distintos peatones en el espacio evidenciando una dispersión horizontal.



1.

Resaltado a color las personas en el espacio moviéndose donde se evidencia una disminución de la densidad de la multitud en el primer tercio del grupo.



**3.-** El entrelazamiento de 2 o más multitudes en direcciones opuestas en un espacio confinado, se refiere a la manifestación de un comportamiento macroscópico de las multitudes en movimiento en direcciones opuestas, en un espacio limitado, así los distintos individuos de las masas de personas en colisión buscaran mantener sus rutas y velocidades, lo más posible, lo que los induciría a abrirse camino entre los integrantes del grupo o los grupos que vienen en direcciones opuestas, de modo que las masas de personas de los grupos presentes formaran carriles que se entrelazaran hasta que ambas multitudes se hayan superado mutuamente, siendo ahí que la formación de carriles en flujos bidireccionales, genera una estructura autoorganizada observada en multitudes reales, (Yuan et al., 2020, p. 343).

- **4.-** El desarrollo de carriles en los desplazamientos de personas con una misma dirección, este comportamiento hace referencia a un ordenamiento espontaneo que los grupos de personas tienden a generar cuando se trasladan en entornos relativamente limitados lateralmente, así el grupo al entrar a estos entornos confinados suele ordenarse en carriles, lo que obedece a un comportamiento sociológico intrínseco a la naturaleza humana, y que se describe como fenómeno de autoorganización que sucede en las multitudes de peatones que conduce a la formación de grupos de peatones que se mueven en la misma dirección los que pueden ser grupos espacial y temporalmente intermitentes y se estiran longitudinalmente a lo largo de la(s) dirección(es) principal(es) de movimiento ocurriendo a menudo en los carriles flujos multidireccionales, pero también puede darse en diferentes contextos, (Adrian et al., 2019, p. 6).
- **5.-** El desarrollo de taponamientos en intersecciones anguladas entre dos multitudes en la misma dirección, este comportamiento hace referencia a la forma en la que los distintos grupos de individuos convergen desde dos diferentes direcciones así dependiendo del ángulo en el cual se produzca la convergencia los individuos tenderán a reducir su velocidad para poder integrarse al flujo que mantenga la mayor cantidad de individuos, buscando así que los carriles se fusionen entre sí, normalmente este proceso suele ralentizar el flujo peatonal lo que en caso de saturación extrema o que la intersección esté en un ángulo cercano a los 90° provoque la acumulación de personas casi detenidas en el punto de intersección, siendo una de las características importantes

Figura 21, Imágenes Ilustrativas de las dinámicas N°3, N°4 y N°5 antes mencionadas,  
Fuente: (Arriba) [www.straitstimes.com](http://www.straitstimes.com) (Abajo) *Pedestrian merging behavior analysis: An experimental study* p. 2 *Img. D Fig. 1*

3. y 4.



Resaltado en Azul y Rojo los flujos interceptándose representado en la dinámica N°3, generando el entrelazamiento o "Fingering", además en blanco punteado se muestra la formación de carriles representado lo expuesto en la dinámica N°4.

5.

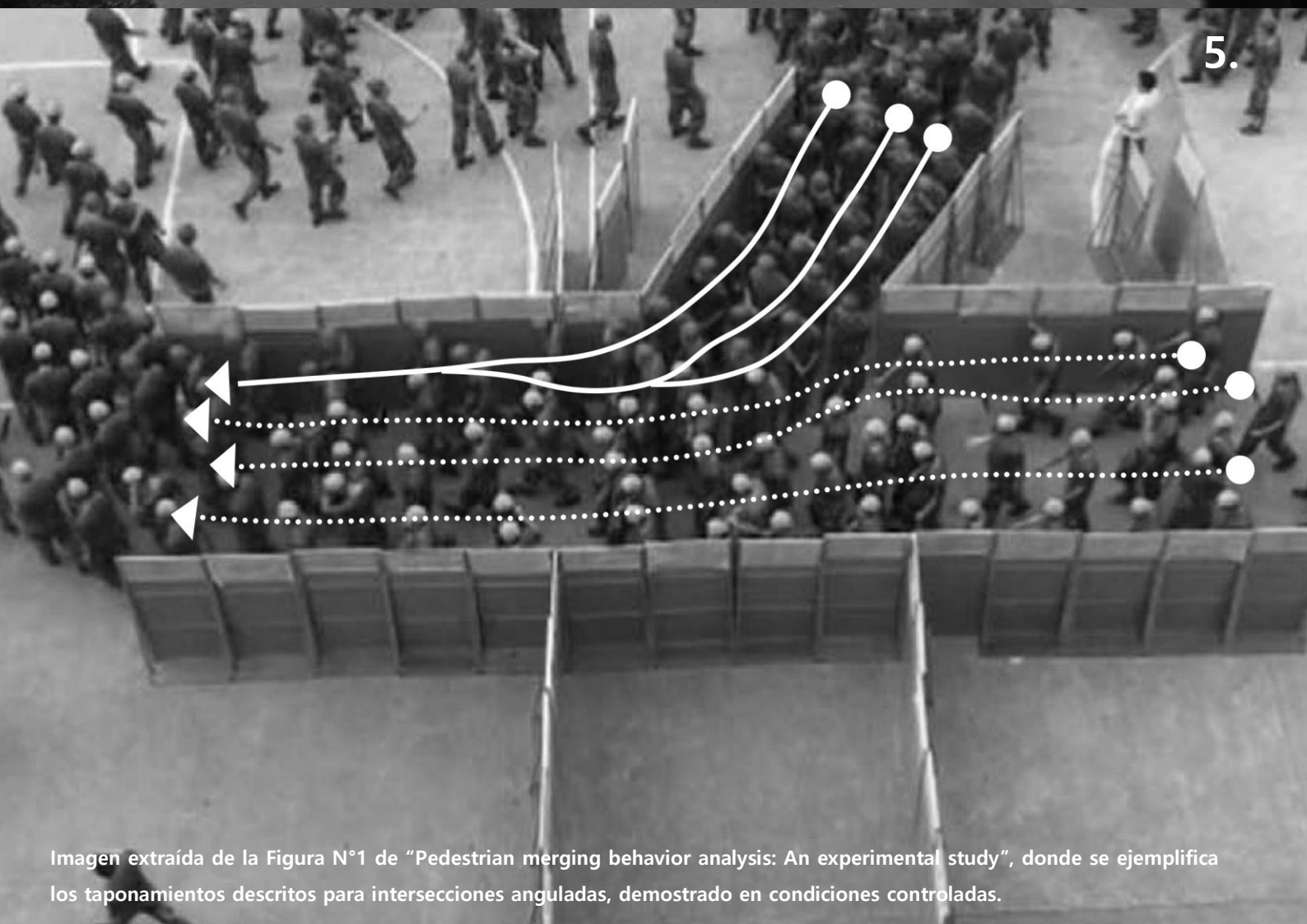


Imagen extraída de la Figura N°1 de "Pedestrian merging behavior analysis: An experimental study", donde se ejemplifica los taponamientos descritos para intersecciones anguladas, demostrado en condiciones controladas.



del movimiento de los peatones el comportamiento de fusión que se observa en las estaciones de tránsito, edificios o cualquier otra área pública interior o exterior, este fenómeno que suele ocurrir cuando los movimientos de multitudes desde variadas direcciones se unen para formar una única corriente peatonal y, por lo tanto, se considera una combinación de movimientos de giro y de entrelazamiento, (Roger P. Roess, Elena S. Prassas, William R. McShane, 2004)] (Shiwakoti et al., 2015, p. 15).

- **6.-** El fenómeno del cuello de botella que se deriva de la relación entre la morfología de un punto de circulación estrecho y la cantidad de personas que transitarán por él, también este fenómeno se puede manifestar en espacios donde dos o más flujos peatonales convergen entre sí, pero casi siempre en función de una unidireccionalidad del flujo, adicionalmente este comportamiento del flujo peatonal se suele presentar de manera más frecuente en entornos que tienen una tendencia a saturarse o que presentan espacios amplios que desembocan en otros más angostos, siendo así como la creación de congestión y cuello de botella en los puntos de salida es una característica común de los escenarios de evacuación de peatones, particularmente cuando la tasa de ocupación es relativamente alta en comparación con las capacidades, (Haghani, 2020a, p. 4).
- **7.-** El fenómeno del *“Wayfinding”* corresponde a un proceso ampliamente descrito en la literatura que guarda relación con el mecanismo mental que tienen los individuos para encontrar sus rutas en el espacio, así este comportamiento le permite al sujeto establecer sus rutas, las que dependiendo del entorno en que se esté desplazando pueden ser compartidas por un grupo de personas mayor, de modo que este fenómeno afecta dinámicas relativas al comportamiento de los flujos particularmente en espacios que presentan obstáculos tanto opacos como traslúcidos, lo que está respaldado por la discusión teórica del concepto presente en Wayfinding que es el proceso de encontrar el camino a un destino en un entorno familiar o desconocido utilizando señales dadas por el entorno, dependiendo el éxito de este proceso en gran medida de la interacción entre los factores humanos y ambientales para lo cual la orientación espacial, las habilidades de mapeo cognitivo, las estrategias de ruta, el idioma, la cultura, el sexo y los factores biológicos se utilizan para formular

Figura 22, Imágenes Ilustrativas de las dinámicas N°6 y N°7 antes mencionadas,

Fuente: (Arriba) [www.kickassfacts.com](http://www.kickassfacts.com) (Abajo) [www.verticalpop.com](http://www.verticalpop.com).

6.



Manifestación de un cuello de botella en una multitud extremadamente densa.

Representación gráfica del proceso de Wayfinding que hacen los peatones en el espacio, en función de los indicadores visuales existentes.

7.





planes y tomar decisiones que se basan en información sobre las características de un entorno obtenida de caminos, nodos, hitos, distritos, mapas y señales, (Farr et al., 2012, p. 15).

- **8.-** Desarrollo de patrones de espera, las personas en algunos casos y bajo ciertas circunstancias tienden a generar estructuras en el espacio que se describen como patrones de espera, estas coloquialmente se denominan "*filas*", siendo originado este fenómeno desde cánones relativos al comportamiento social humano que se pueden manifestar espontánea o de manera conducida donde cualquiera sea el caso suelen ocupar un espacio que puede interferir con otros flujos peatonales, un comportamiento no trivial que ha recibido poca atención es el de esperar, que en los peatones es una característica común en casi cualquier situación de tráfico normal, (Johansson et al., 2015, p. 2).
- **9.-** El fenómeno del Distanciamiento, este se produce entre dos o más personas, donde individuos que no tienen relación entre sí se busca establecer una distancia física que resulte "razonable", así este fenómeno tiene relación también con el comportamiento social humano de masas, el cual al escalarse genera una interrelación entre los ocupantes del espacio los que presentan cierta tendencia a separarse de los otros mientras la situación lo permite, al caminar en áreas concurridas, los peatones ajustan regularmente su camino y velocidad para evitar colisiones y para mantener una distancia cómoda de los extraños cercanos, (Bighashdel et al., 2020, p. 1).

Estos fenómenos suelen considerarse como eventos auto organizativos, los cuales se expresan de manera natural en el comportamiento humano de masas, sin necesidad de una coordinación previa entre los individuos, así estos fenómenos gobiernan de cierto modo el comportamiento social en cuanto a la participación de los individuos en masas de personas en movimiento, dichas dinámicas ya mencionadas también están relacionadas con el contexto en el cual, los flujos peatonales se desenvuelvan, donde el tamaño, morfología, geometría entre otros factores permite la aparición más marcada de los fenómenos señalados, así estas dinámicas también están sujetas al comportamiento y densidad donde en su conjunto se pueden apreciar efectos en cadena, lo que ocurre en casos de densidades extremas, grandes disturbios o multitudes de peatones nerviosos, (Helbing et al., 2005, p. 6).

Figura 23, Imágenes Ilustrativas de las dinámicas N°8 y N°9 antes mencionadas,

Fuente: (Arriba) [www.wallpaperflare.com](http://www.wallpaperflare.com) (Abajo) [www.cnet.com](http://www.cnet.com)

8.



Fotografía donde se evidencia lo mencionado respecto de la formación de Filas y esperas en torno a puntos de interés, estas estructuras están resaltadas en con color y flechas blancas.

Fotografía donde se evidencia lo mencionado respecto del comportamiento del distanciamiento donde se resalta la distancia que tienden a tomar los individuos en movimiento en el espacio respecto de otros.

9





Así, estos también se combinan con otros factores propios de la naturaleza heterogénea de los grupos humanos, donde estos derivan de condiciones particulares radicadas en el espectro individual, de este modo la distribución heterogénea previamente descrita para los grupos humanos, provoca inconsistencias de la velocidad, percepción, orientación espacial y capacidad física de los individuos, lo que se traduce como una alteración a la dinámica de los flujos presentes en el espacio, esta disparidad esta evidenciada en la presentación de *"The influence of physical and mental constraints to a stream of people through a bottleneck"*, donde se menciona que los estudios no logran representar circunstancias en la vida real con una amplia variedad de limitaciones individuales para moverse, (Geoerg et al., 2020, p. 1), a esto también se le suma la posibilidad que los individuos presentes en el flujo peatonal se movilizan en compañía de otros individuos, donde estos conforman una unidad que supedita sus diferencias individuales en una especie de sub grupo que también utiliza un lugar en el espacio, estos sub grupos representan un porcentaje no despreciable relativo a los sujetos presentes en el espacio, donde a diferencia de los ocupantes que transitan de manera independiente de otras personas, estos sub grupos de peatones se desplazan de manera cohesionada, como si fueran un individuo de mayores proporciones en sí mismos lo que naturalmente marca una dinámica que debe considerarse en función de la tipología programática del proyecto en cuestión, ya que la aparición de estos sub grupos o la heterogeneidad de la masa de personas, además de jugar un rol clave en el desarrollo del movimiento en el espacio, también pueden variar en su aparición dependiendo del propósito del entorno a analizar, así cuando las personas se desplazan solas, suelen caminar más rápido contribuyendo significativamente a la velocidad de los peatones, (Ridel et al., 2018, p. 3108).

Otra propiedad considerable de los flujo peatonales dice relación con lo anteriormente expuesto respecto del nivel de cohesión que presenta la masa de personas presente en el espacio, esta cohesión suele estar dada por la tipología programática a la cual el entorno de análisis pertenezca, así entornos poseedores de múltiples puntos de interés, entradas o salidas, con cantidades de población altas serán más propensos al desarrollo de flujos peatonales mucho más desagregados, los que se traducen en múltiples flujos interceptando sus rutas entre sí, conformando un entorno donde fenómenos como la manifestación de cuellos de botella, separación de las vanguardias ya descritos anteriormente, sean

Figura 24, Fotografía interior del Hall Central del Caso de Estudio donde se resalta en azul y blanco los peatones que se desplazan por el espacio como un grupo unificado como se menciona anteriormente,

Fuente: Elaboración Propia





menos frecuentes y donde el desarrollo del *"wayfinding"* se manifiesta de forma más individual entre los ocupantes del espacio, caso contrario a lo que ocurre con entornos que poseen una tipología programática que mantiene puntos de interés singulares, una cantidad reducida de entradas y salidas o puntos de interés en función de un fin único en el proyecto, esto induce a los flujos presentes en el espacio a direccionarse a través de una secuencia de puntos de control comunes, tales entornos suelen presentar una dinámica de flujos peatonales mucho más unificada entre los usuarios del espacio, presentando estos casos, la formación de cuellos de botellas, aglomeraciones unidireccionales, puntos del recorrido que generan patrones de espera y una manifestación de fenómenos como el *"wayfinding"* mucho más uniforme entre los usuarios.

### 3.3.- Tratamiento de los flujos peatonales en la Arquitectura.

Habiendo revisado el fenómeno de los flujos peatonales, sus propiedades y dinámicas se puede establecer que esta variable de proyecto posee un grado de complejidad y una serie de capas de información que se apartan a la lógica de la línea recta de origen a destino, así el tratamiento que la arquitectura le da a esta variable suele ser normalmente un sistema de análisis simplificado, el cual no considera la complejidad antes expresada para el desarrollo de proyectos de arquitectura.

Ahora bien, se entiende que al estar el fenómeno de los flujos peatonales ligado tanto al comportamiento de las personas como a la morfología del espacio construido, entra a un plano de incertidumbre sobre todo cuando se pretende hacer un análisis previo al desarrollo del proyecto, por eso en la arquitectura se han desarrollado mecanismos que permiten analizar los flujos peatonales, antes de que el proyecto este concretado, de modo que este mecanismo suele trabajar enumerando los distintos puntos de interés dentro del entorno del proyecto con el fin de trazar las distintas rutas de los usuarios en el espacio, logrando de esa forma proveer de una información básica pero útil con el fin de desarrollar los proyectos y particularmente las circulaciones dentro de estos.



Figura 25, Fotografía interior del Hall Central de una estación de trenes en Gran Bretaña mostrando la influencia del espacio diseñado en la dinámica de los flujos,  
Fuente: [www.wired.co.uk](http://www.wired.co.uk)



Si bien el mecanismo de proyección presente en la arquitectura es simple, ya que trabaja con una versión reducida de los flujos peatonales, este suele ser relativamente efectivo en proyectos de una escala mayor, así las limitantes que el mismo impone junto con los requerimientos normativos, favorecen un ambiente en el cual el tratamiento de los flujos peatonales en su interior suele estar sujeto a menos limitaciones, particularmente en cuanto a tamaños de los espacios interiores, lo que da más margen de acción respecto de los flujos peatonales, sin embargo, proyectos de mediana y pequeña escala al poseer limitantes como el espacio disponible, restricciones presupuestarias y normativas que constriñen más al diseño, tipologías programáticas más variadas, entre otros factores, no posibilitan que el desarrollo de técnicas de análisis de flujos peatonales estimativas y simplificadas como las expuestas anteriormente tengan un éxito relativo como en escalas mayores, para ejemplificar esta situación, el Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez correspondiente a un proyecto de gran escala emplazado en la comuna de Pudahuel, Región Metropolitana, tendrá para el año 2021 una superficie de 320.000 metros cuadrados (Nuevopudahuel, 2017, p. 1) y un tráfico anual de 25.000.000 pasajeros para el mismo año 2021 (*datos previos a la pandemia 2020-2021*) (Groupe ADP, 2019, p. 1), este proyecto poseerá entonces una cantidad de pasajeros anuales por cada metro cuadrado de 78,12; ahora bien tomando el caso de estudio seleccionado para pequeña escala consistente en la Terminal de Pasajeros del Aeródromo Pichoy en la Comuna de Mariquina, Región de Los Ríos, que posee 2.200 metros cuadrados al 2021 y un tráfico de pasajeros anual de 350.000 personas proyectadas al mismo año 2021 (ver capítulo III), la densidad de pasajeros anuales por metro cuadrado de proyecto es de 159,09; por lo tanto y comparando ambos casos, el ejemplo de pequeña escala posee un 203,06% más de uso anual por cada metro cuadrado respecto del proyecto de gran escala presentado, pudiéndose desprender que los proyectos de menor escala, a pesar de poseer espacios más acotados y menor cantidad de personas en su interior, mantienen una proporción de ocupación en el tiempo por metro cuadrado superior, por ello el tratamiento estimativo de los flujos peatonales genera un espectro de incertidumbre, el cual normalmente no se despeja hasta que el proyecto en cuestión este completamente concretado y operativo, incertidumbre que se ve reflejada en lo expresado en *"Simulating pedestrian flow dynamics for evaluating the design of urban and architectural space"*, donde se presenta que a diferencia de los flujos de vehículos, que

Figura 26: Fotografías comparativas del espacio interior con programa similar de un proyecto de gran escala y uno de pequeña evidenciando lo mencionado anteriormente respecto de las constricciones del diseño según la escala del proyecto,  
*Fuente: Fotografías de elaboración propia.*



Hall Central Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez, Santiago Chile, 320.000 m<sup>2</sup> (2021)



Hall Central Aeródromo Pichoy, Valdivia Chile, 2200 m<sup>2</sup> (2021)



circulan por corredores fijos del entorno vial y están sujetos a normas de tráfico específicas, los flujos de peatones se caracterizan por un grado significativo de aleatoriedad, por lo que se podría considerar que el viaje de cada individuo es único, (Eleonora Papadimitriou, George Yannis, 2009) (Jalalian et al., 2010, p. 1).

De este modo el tratamiento de los flujos peatonales en la arquitectura respecto de la mediana y pequeña escala presenta problemas que se van tornando cada vez más serios mientras se agregan capas de información y requerimientos específicos para los proyectos a medida que estos aumentan de complejidad, lo que naturalmente ocurre con el avance social y tecnológico rampante que existe hoy en día, así esta condición establece que desde el campo disciplinar de la arquitectura se deba realizar un tratamiento de los flujos peatonales, que incorpore mecanismos predictivos, que puedan entregar información analítica y objetiva respecto de los entornos que se están proyectando para lograr favorecer el desarrollo de los flujos peatonales en espacios y escalas donde normalmente se presentan constricciones limitantes, que al final se traducen en menos holgura hacia los flujos peatonales, favoreciendo la aparición de problemas relativos a estos.

### **3.4.- Complejidades del análisis y diseño de Flujos Peatonales.**

En principio, el análisis de flujos peatonales al ser estos un fenómeno que presenta una complejidad amplia y que depende del comportamiento humano junto con la geometría del espacio, debe ser desarrollado a través de enfoques que consideren la distancia a la cual el observador esté, así esta distancia de observación permite generar lo que se describe en la literatura como escalas de análisis, las que evalúan con diferente nivel de detalle el flujo peatonal y sus implicaciones.

Sin duda que gracias a las propiedades del flujo peatonal y a la naturaleza de su composición hay factores que hacen que sus dinámicas y comportamientos previamente establecidos estén en función del detalle con el que se pretendan obtener los datos, esto puede ir desde, escalas más amplias y

Figura 27: imagen de una multitud en movimiento evidenciando la imprevisibilidad y caos subyacente a la naturaleza de esta complejizando su análisis,  
*Fuente: www.ucfc.edu.*





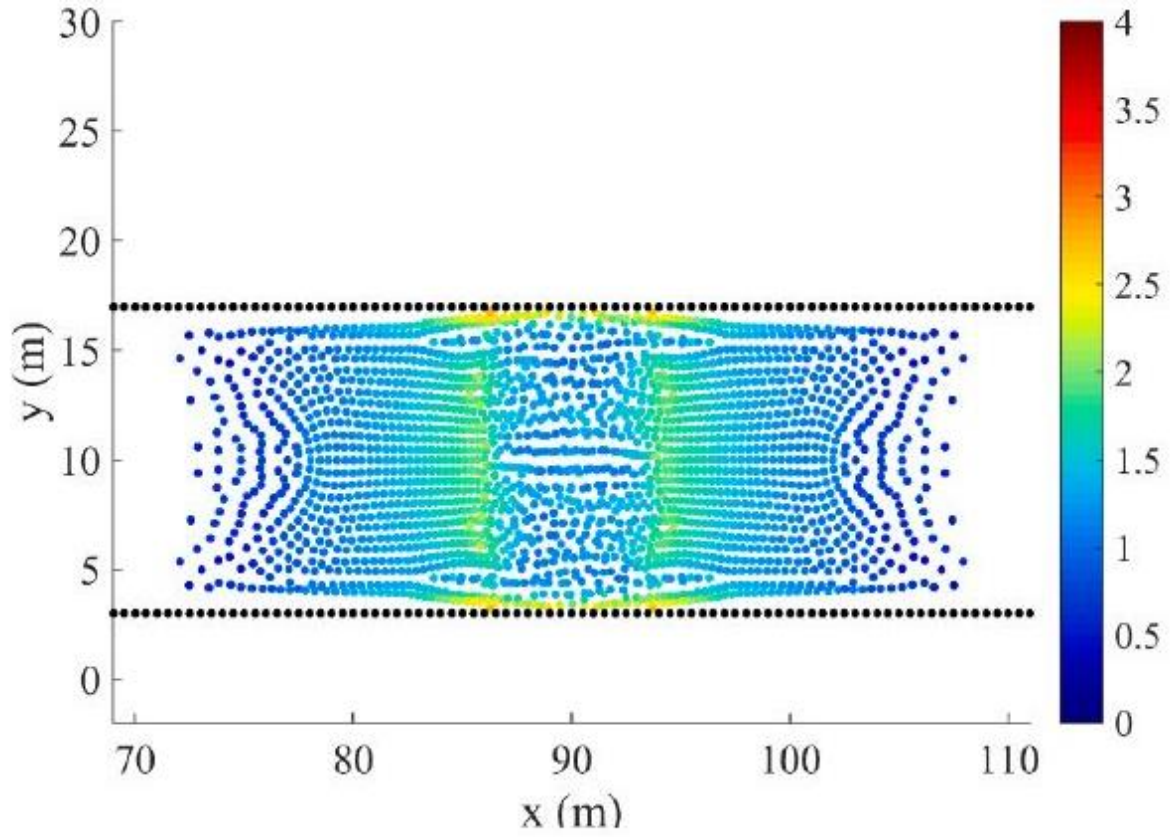
simplificadas, a otras escalas que buscan establecer la interacción que tienen los agentes en el espacio entre sí con sus variabilidades particulares en función de espacios muy específicos de los proyectos.

Esta correlación de escalas en la literatura se ha separado en niveles macroscópico y microscópico, siendo estos las representaciones de escala de análisis más frecuentes y que poseen enfoques de aplicación mucho menos experimentales y más fundados, es así como la literatura sobre el flujo de peatones a menudo distingue modelos microscópicos y macroscópicos, los modelos microscópicos representan el flujo de peatones a nivel de sujetos individuales y, en general, tienen como objetivo describir el comportamiento y las interacciones singulares y, por el contrario, los modelos macroscópicos describen la dinámica del flujo en términos más agregados, utilizando cantidades como flujos, densidades y velocidades, (Hoogendoorn et al., 2014, p. 3), sin embargo también existen enfoques de análisis que se plantean como mixtos entre estas escalas o con directrices que buscan explorar facetas que los enfoques antes mencionados no pueden explorar, así estos sistemas a pesar de ofrecer ciertas prestaciones que pueden ser mucho más amplias que las escalas de análisis tradicionales, dada su condición experimental no vienen al caso para desarrollar un estudio enfocado en la arquitectura ya que dada la naturaleza delicada de los proyectos es preferible siempre confiar en mecanismos de análisis que limiten al máximo errores o discrepancias relativas a sistemas experimentales, salvo para el caso del enfoque de examen mesoscópico el cual, a pesar de no ser tan descrito, se presenta como una alternativa válida a la hora de analizar multitudes. De este modo, retomando las escalas "tradicionales", por decirse así y el enfoque mesoscópico, la descripción básica de cada una sería la siguiente:

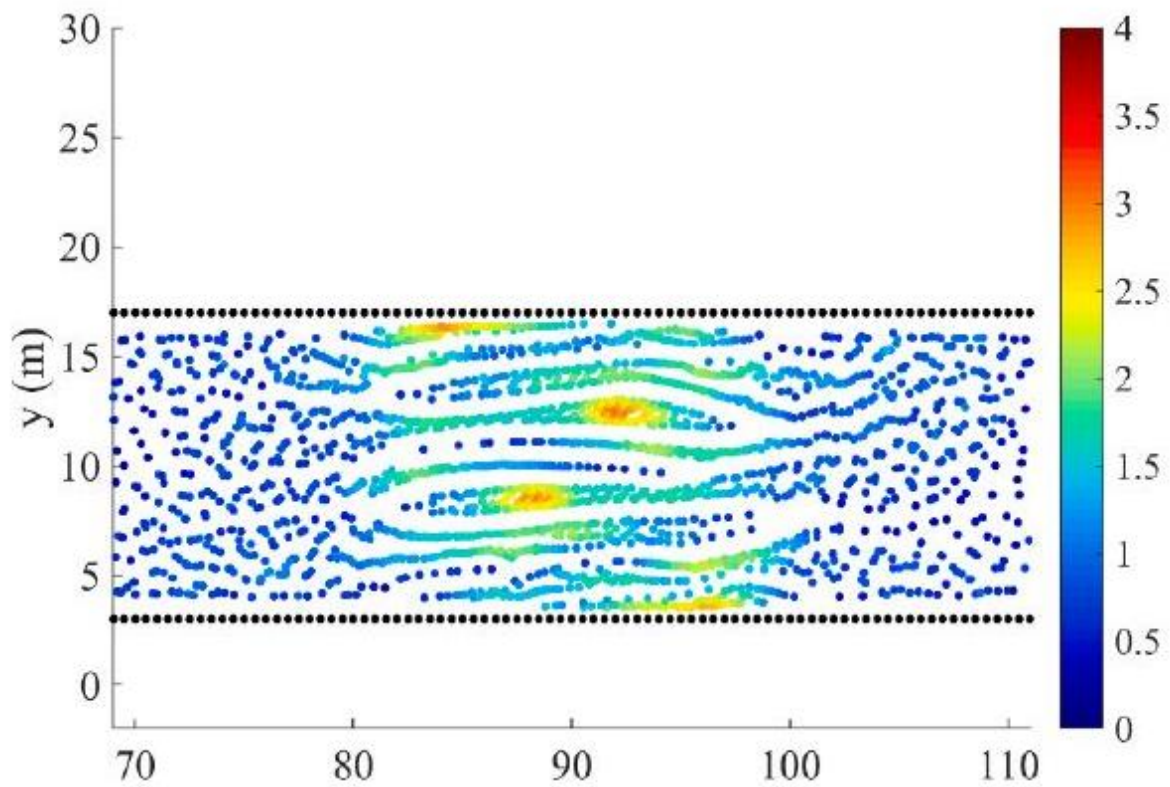
- **1.- Escala Macroscópica**, esta plantea un análisis considerando las rutas de origen a destino o puntos de interés, tendiendo este mecanismo a estudiar el comportamiento de la gente en movimiento a partir de parámetros y probabilidades preestablecidas donde se deja de lado ciertas variabilidades individuales o circunstancias que afecten el comportamiento individual de cada agente en el espacio, así esta escala de análisis plantea la concepción del flujo peatonal desde la aproximación relativa a la masa, donde los agentes puntuales, a pesar de estar expresados en sí, supeditan su comportamiento individual mucho más de lo que lo haría un ser humano real, lo que ocurre dado

Figura 28: Ejemplo representativo de un análisis Macroscópico entre dos multitudes en intersección,

Fuente: *Macroscopic pedestrian flow simulation using Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)*. Fig. 10.



(c) Time  $t = 30$  s

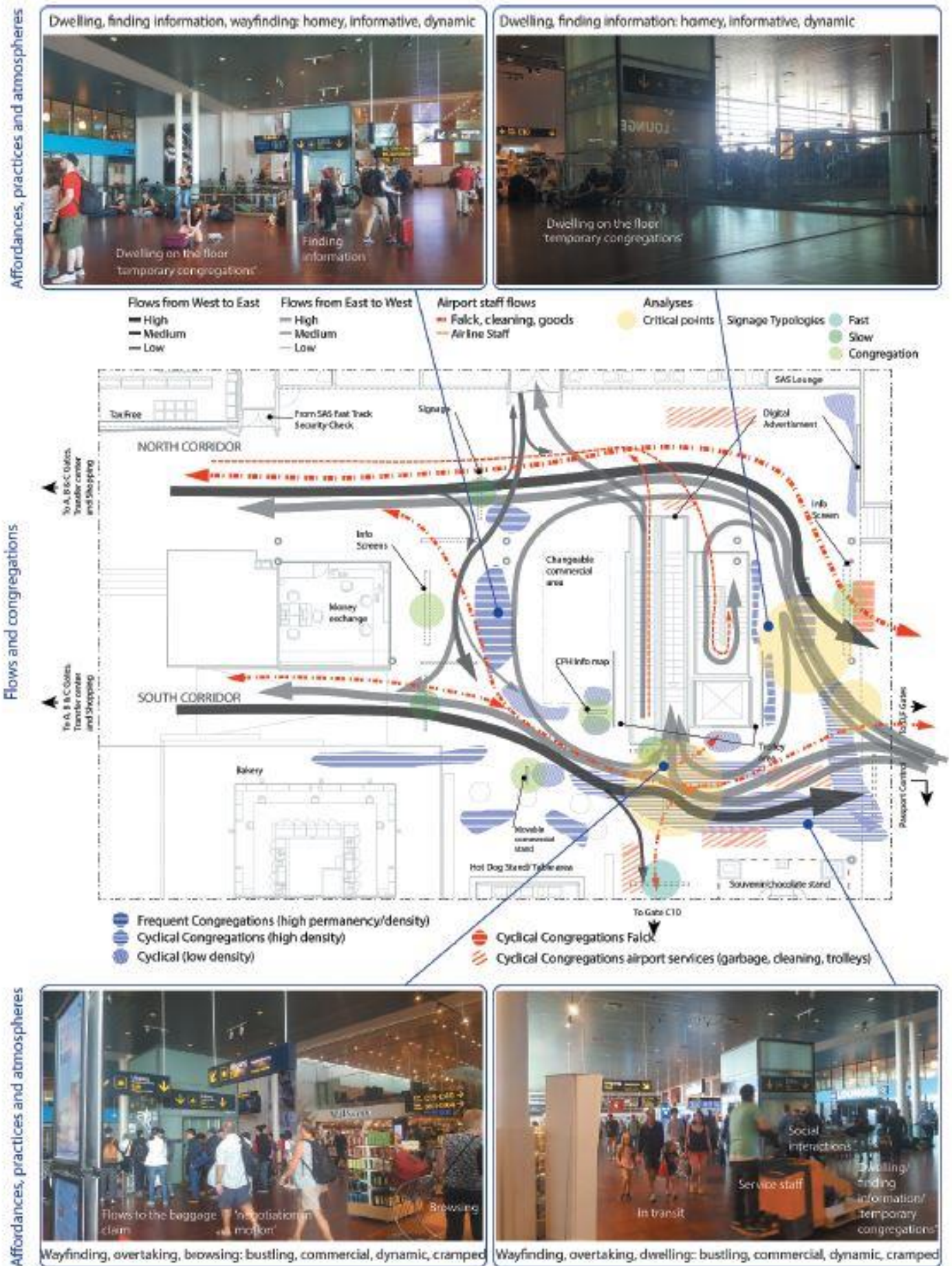




que las condiciones de laboratorio que se establecen para este tipo de estudios permiten un grado de abstracción que suprime ciertos elementos del comportamiento humano, presentándose al efecto la definición de esta escala en "*A Glossary for Research on Human Crowd Dynamics*", donde se plantea que los modelos macroscópicos no distinguen a los individuos, la dinámica del sistema se describe utilizando cantidades agregadas, como densidades o flujos, los ejemplos incluyen enfoques basados en dinámica de fluidos y métodos de cálculo manual, (Adrian et al., 2019, p. 8).

- **2.-** Escala Mesoscópica, esta presenta una aproximación media entre la escala Macroscópica y Microscópica estableciendo un desarrollo similar al comportamiento de masas, el cual se desarrolla en la escala Macroscópica pero integrando variabilidades individuales que permiten el análisis de alternativas mucho más acotadas, donde el norte principal de esta escala de análisis permite una aproximación que considere ciertos factores de individualidad sin perder un enfoque de estudio desde la perspectiva de la masividad , logrando así resultados donde se podría llegar a comprender hasta cierto nivel el comportamiento individual de las personas en las distintas masas que conforman el flujo peatonal, por lo que situado entre modelos microscópicos y macroscópicos no pretende describir aspectos, como el movimiento y el comportamiento, de cada individuo, sino solo ciertos aspectos, un modelo que considera a los agentes como individuos, pero describe su comportamiento como relaciones agregadas, modelo para un sistema de partículas que describe la evolución de la distribución de probabilidad de partículas en el espacio donde a menudo describe la posición y velocidad, (Adrian et al., 2019, p. 8).
- **3.-** Escala Microscópica, esta escala plantea un análisis desarrollado desde las interacciones unipersonales de cada agente en el espacio con los demás y el espacio mismo, permitiendo a esta escala de análisis enfocarse en conductas presentes en el espacio que normalmente se pueden expresar o analizar solo desde el comportamiento individual, así este tipo de análisis de flujos peatonales usualmente está enfocado a un examen particular de los proyectos dejando de lado la capacidad de establecer modelos generales presentados por los dos sistemas anteriores, por lo que este modelo de estudio puede llegar a considerar las opciones particulares de los usuarios, elementos atractores visuales presentes en el espacio e incluso factores ambientales ajenos al tratamiento de

Figura 29: Ejemplo representativo de un análisis Microscópico desarrollado en el aeropuerto de Copenhague, Fuente: *Airport Design and Situational Passenger Flows and Practices: Exploring Design as a Method in Copenhagen Airport Fig. 7.*





los flujos, modelo de un sistema de partículas en el que la dinámica de cada una se aborda individualmente, es decir, a través de un conjunto delicado de ecuaciones y/o algoritmos, incluyendo los ejemplos autómatas celulares y modelos basados en aceleración, (Adrian et al., 2019, p. 8).

Habiendo presentado las escalas de análisis y sus características se debe tomar en consideración que todas estas además de adoptar un enfoque "de laboratorio", también suelen ser desarrollados posterior a la construcción y puesta en marcha de una obra, pero donde rara vez la aplicación de estos está vinculada para afectar el espacio previo a la finalización del proyecto, así es posible desplazarse hacia el campo del análisis a través de modelos predictivos los que consideran lo antes mencionado (relativo a las escalas de análisis) como una forma de establecer que tan detallado es cada modelo.

Consecuentemente y establecidos los mecanismos de análisis que se trabajan para el flujo peatonal es necesario presentar las complicaciones que tienen tanto el estudio como el diseño de flujos peatonales por cuanto, en principio, las complicaciones relativas al examen de flujos peatonales radican en la naturaleza ya establecida de los mismos, la cual deriva del mencionado factor humano, de este modo siempre que se deba realizar un análisis del flujo peatonal se deberá trabajar con modelos abstractos que permitan procesar la información lo que se encuentra respaldado por Jalalian et. al. en "*Architectural evaluation of simulated pedestrian spatial behaviour*" donde se hace alusión a las herramientas computacionales y su capacidad de abstraer la complejidad del comportamiento humano de masas, al expresar que por lo tanto, las herramientas computacionales son cruciales para mapear esta aleatoriedad en un modelo en tiempo real que simula el comportamiento de los peatones, (Jalalian et al., 2011, p. 2), tomando en cuenta lo anterior también se establece que el análisis sobre el flujo peatonal se puede realizar sobre observaciones de campo, las cuales sin embargo respecto de las problemáticas tratadas enfocadas a la posibilidad de establecer los comportamientos de las masas en el espacio, durante el proceso de diseño de los proyectos de arquitectura, no sirve debido a que estas observaciones requieren de un proyecto ya concretado y operando, así en pro del foco de la investigación se debe confiar en la aplicación de modelos matemáticos que emulen el comportamiento de las personas, lo que trae en si sus propias complicaciones, radicando estas básicamente en la reducción de ciertos factores que influyen

en el comportamiento de las masas y de los individuos que las integran, los que dada su naturaleza subjetiva serían difíciles de integrar a un modelo digital, estos factores están ejemplificados en *"Architectural evaluation of simulated pedestrian spatial behaviour"*, donde se alude a los objetos atractores generados en lugares "públicos", incluidos entornos externos como calles y plazas, además de espacios internos que se darían en centros comerciales y museos, los objetos "atrayentes", como vallas publicitarias o expositores, distraen a los peatones de seguir un camino directo hacia sus destinos, (Jalalian et al., 2011, p. 132).

Respecto de las complicaciones presentadas en función del desarrollo de proyectos que incorporen en su diseño conscientemente el flujo peatonal se puede establecer, que estas complejidades radican en la naturaleza humana inherente a los flujos peatonales, donde a la faceta de análisis se le integra la cara del desarrollo de proyectos, surgiendo las eventuales complicaciones a través de eventos y ocurrencias que se evidencian en los proyectos de arquitectura, los que guardan relación con la saturación, poca fluidez del espacio, sobre dimensionamiento o en su defecto sub dimensionamiento y dinámicas de circulación que a veces parecen no tener sentido al transitar a través de estos proyectos.

### **3.5.- Problemas relativos a los flujos peatonales en la Arquitectura.**

Los flujos peatonales presentan una serie de problemas y dinámicas anómalas que se expresan en la producción arquitectónica actual, así esta serie de manifestaciones se tornan evidentes a la observación con perspectiva de arquitectura, de modo que estos problemas se expresan a través de anomalías en las dinámicas expuestas respecto del comportamiento de masas en movimiento, sin embargo dependiendo de las condiciones y tipologías programáticas del entorno, estos problemas, a su vez, se suelen plasmar en condiciones de saturación media y alta durante la operación diaria del proyecto, o durante la manifestación de condiciones ajenas a la operación normal, ahora bien los problemas enunciados a continuación representan los eventos y fenómenos más frecuentes, lo que no implica que



Figura 30: Imagen de una Multitud de Alta densidad en el espacio Público, donde en estos casos de alta saturación los problemas respecto de los Flujos Peatonales y su relación con el espacio son más evidentes

Fuente: [www.blogs.scientificamerican.com](http://www.blogs.scientificamerican.com)



no existan otros fenómenos de mucha menor ocurrencia o que en su defecto aún no estén descritos en la literatura, así los problemas relativos al flujo peatonal serían:

- **1.-** El fenómeno del cuello de botella, esta figura está ampliamente descrita en una innumerable cantidad de entornos donde su manifestación deriva de una saturación media o alta en un espacio que, en algunos casos, puede tener un punto de interés que induzca a las personas a movilizarse a través de un pasaje angosto en el marco de un proyecto y, en otros casos, la manifestación de la saturación hace insuficientes los pasajes angostos donde una gran cantidad de personas pretenden pasar, sin embargo para este fenómeno existen grados dependiendo de la geometría, el ancho y la longitud, entre otras condicionantes de la vía, teniendo además como factor la cantidad de gente presente, donde en el caso de una saturación media se traduce en una reducción de velocidad y en el caso de una saturación alta, puede ocasionar un taponamiento o bien en casos más extremos una estampida, así los eventos de cuellos de botella severos están descritos en *"Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions"*, donde se indica que en casos de estampidas de multitudes, la obstrucción puede ocurrir incluso si todos los peatones se dirigen en la misma dirección planteando que en Sheffield, por ejemplo, los fanáticos del fútbol que huían no lograron escapar por una salida de emergencia abierta porque habían obstruido seriamente cada una, (Helbing et al., 2005, p. 9).
- **2.-** El taponamiento, este fenómeno suele ser propio de entornos de alto tráfico con dimensiones relativamente acotadas, su expresión, al igual que el fenómeno anteriormente, descrito esta dado por una serie de factores, desde la geometría del espacio hasta la cantidad de personas en este y aunque si bien pudiese entenderse muy similar al cuello de botella, más bien el taponamiento es la repercusión de uno o más cuellos de botella en un espacio generando un efecto en cadena que reduce la velocidad de los agentes a tal grado que estos se van deteniendo y acumulando en áreas concretas del espacio o en casos extremos y muy particulares sobre toda la superficie del proyecto, resultando en que, las obstrucciones son prácticamente inevitables, por lo tanto, el mayor desafío para arquitectos, urbanistas y organizadores de eventos masivos por ejemplo, Juegos Olímpicos, (Helbing et al., 2005, p. 15).



Figura 31: Imagen de una multitud transitando en un cruce de calle bidireccional durante un evento, donde se evidencian los fenómenos N°1 y N°2 antes descritos, resaltando en azul los puntos de taponamiento y representando las flechas blancas los cuellos de botella generados por la misma multitud  
*Fuente: www.youtube.com*



- **3.-** La estampida es un fenómeno de muy baja ocurrencia y, en general, ajeno a la pequeña y mediana escala, sin embargo ha sido observado en entornos medianos particularmente en una combinación de situaciones de alta saturación, un espacio pobremente diseñado y un evento que gatilla repentinamente el movimiento de las personas en una dirección en concreto, así este fenómeno a pesar de ser extremo, presenta complicaciones a las cuales muchas tipologías programáticas se enfrentan, convirtiéndolo en un riesgo latente de no haberse considerado un escenario con su ocurrencia en el diseño, “En los últimos 100 años, las estampidas humanas han causado alrededor de 4.000 fallecimientos y un número de heridos graves 10 veces mayor” (Celia Lozano, Álvaro Janda, Diego Maza, Angel Garcimartín, 2010).
- **4.-** Intersecciones conflictivas, a pesar de presentarse con un nombre común, es un problema casi generalizado en proyectos que presentan circulaciones que descargan sus flujos lateralmente a otras o bien a espacios abiertos con alto tráfico de personas, así en este fenómeno existen múltiples factores determinantes, entre ellos la cantidad de personas circulando en cada dirección, las orientaciones generales en las cuales las personas se mueven, el ángulo de intersección y la velocidad a la cual los flujos de individuos se interceptan entre sí, valiendo la pena mencionar también que en la literatura se han presentado una serie de estudios que analizan el tema de las intersecciones complicadas, donde se establece como un problema frecuente y que es independiente de la distribución demográfica de los agentes en el espacio y de su nivel de coordinación, esto se plantea en *“State of the art high-rise building emergency evacuation behavior”*, donde se expresa lo anterior en situaciones de emergencia ya que el comportamiento de fusión ocurre en los descansillos de las escaleras en los edificios de gran altura cuando los ocupantes entran al hueco de la escalera y se fusionan con las multitudes que bajan, la ubicación y el flujo combinado, además de la densidad local tienen una influencia obvia en la velocidad, el comportamiento de fusión en cada piso de la plataforma de la escalera es importante en la evacuación de edificios de gran altura, el comportamiento de los peatones afectará la velocidad del flujo de peatones, lo que a su vez afecta el tiempo total de evacuación, (Ding et al., 2021, p. 8).



Figura 32, Imágenes Ilustrativas de los Fenómenos N°3 y N°4 antes mencionadas,  
Fuente: (Arriba) [www.electicepisodes.blogspot.com](http://www.electicepisodes.blogspot.com) (Abajo) *Elaboración Propia.*




Imagen ilustrativa de la ocurrencia de una estampida, donde las personas que están en la parte frontal se ven aplastadas por las personas que se mueven en la misma dirección, las flechas indican la dirección del movimiento, además las líneas rectas superior e inferior son una referencia del plano horizontal.


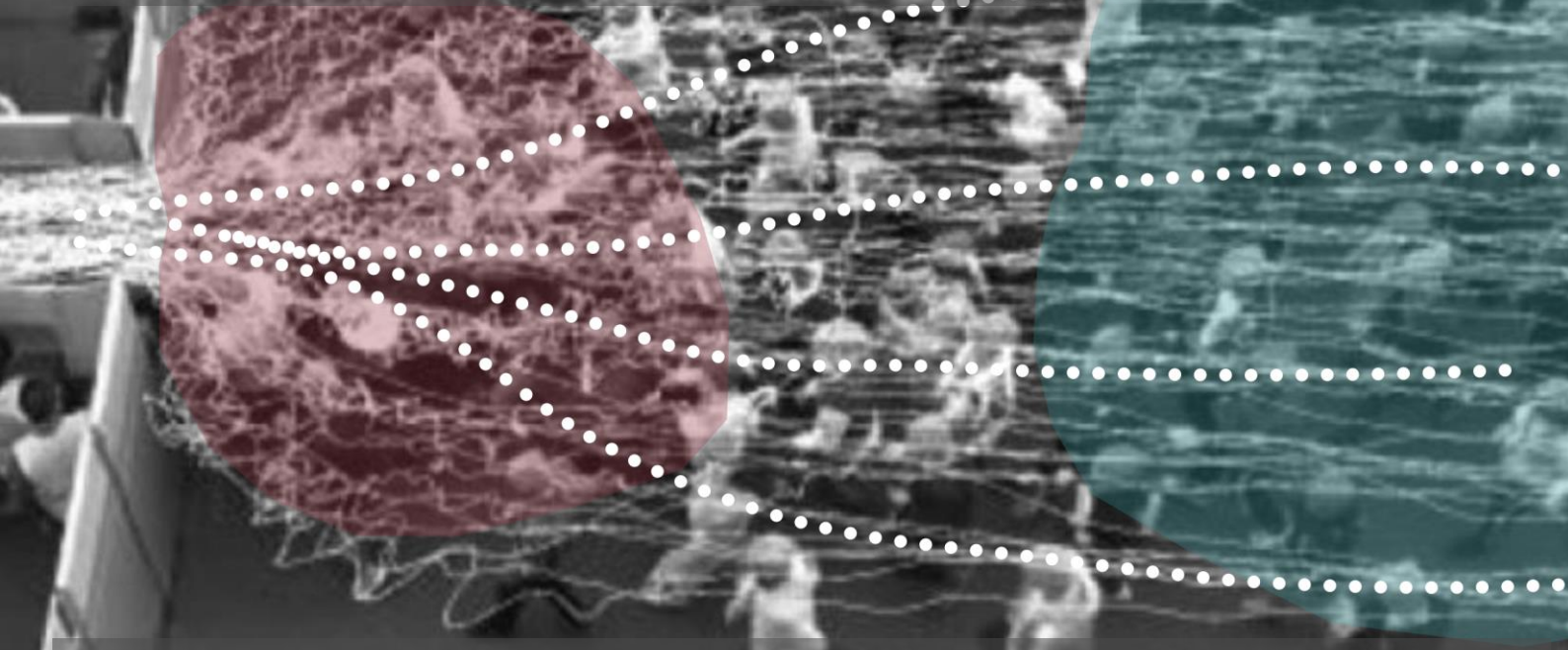


Imagen ilustrativa de la intersección de dos flujos peatonales, donde esta genera un atochamiento y reducción de la velocidad a demás de una incomodidad de los ocupantes.

- **5.-** El fenómeno “más rápido es más lento” se ha descrito en la literatura enfocado al comportamiento que tienen las personas en un ambiente donde repentinamente se genera una obstrucción del flujo, ya sea derivada de otro grupo de personas, la geometría del espacio o bien factores externos, entonces básicamente constituye una reducción repentina de la velocidad de las personas que están en movimiento, lo que provoca un efecto en cadena que va deteniendo a todas las personas que están detrás del primer grupo de personas que se encontró con la obstrucción, así y haciendo referencia a la definición dada por la literatura a mayor velocidad menor es el tiempo de reacción que tienen los individuos en el espacio y por lo tanto, la reducción de velocidad se hace de una manera más brusca, lo que repite el mismo resultado para todas las demás personas que estén hacia atrás, a diferencia de otros problemas este fenómeno no requiere de una alta saturación si no que de vez en cuando se manifiesta de manera espontánea derivado de una acción individual que activa el efecto en cadena ya mencionado, también éste tiene grados de severidad donde en algunos casos es prácticamente imperceptible la aparición de este problema y en otros puede generar un taponamiento generalizado en alguna zona del espacio, así la aproximación a este fenómeno esta presentada por, donde se hace alusión a las situaciones de evacuación *“Beyond the faster-is-slower effect”*, donde se enuncia el efecto “más rápido es más lento” (FIS) es el fenómeno principal que tiene lugar cuando los peatones se involucran en una situación e intentan escapar por una puerta, ocurriendo que cuanto más rápido intentan llegar a la salida, más lento se mueven debido a la obstrucción cerca de la puerta, (Sticco et al., 2017, p. 1).
- **6.-** Obstáculos en el espacio, muchos espacios diseñados en la actualidad tienen una distribución similar a una planta libre, donde esta distribución se ve complementada por elementos de fácil distribución presentes en el proyecto, así estos elementos configuran una secuencia de obstáculos en el espacio, los cuales reordenan el tráfico de personas y pueden llegar a acentuar otros problemas mencionados, de este modo dichos obstáculos contribuyen a direccionar los flujos, pero también pueden ser *“un arma de doble filo”*, induciendo la formación de geometrías problemáticas, *“condiciones adversas a su movilidad, tales como obstáculos, discontinuidades, barreras físicas, distanciamiento de actividades”* (Fredy & Guío, 2010, p. 8).



Figura 33, Imágenes Ilustrativas de los Fenómenos N°5 y N°6 antes mencionadas,  
 Fuente: (Arriba) A comparative study on the bottleneck pedestrian flow under different  
 movement motivations Fig. 1 (Abajo) www.wired.com.



Fenómeno de Mas Rápido es Mas Lento, evidenciado en el experimento desarrollado en "A comparative study on the bottleneck pedestrian flow under different movement motivations", donde se resalta en azul las zonas de menor densidad, pero mayor velocidad y en rojo las zonas de mayor densidad, pero menor velocidad, donde las macro rutas de los peatones están indicadas en punteado y el desplazamiento es de derecha a izquierda.

Imagen ilustrativa de la influencia de los obstáculos en el espacio y como estos moldean las rutas peatonales al interior de los proyectos sobre todo en ambientes de planta libre, en azul se resaltan los obstáculos más evidentes o influyentes y en blanco se trazan las macro rutas de los distintos flujos peatonales.



- 7.- El fenómeno de las filas, dentro del comportamiento social humano existen estándares sociales vinculados a ciertas actividades particulares, uno de estos comportamientos es la formación de las filas, la cual guarda relación con los cuellos de botella mencionados anteriormente, así estas estructuras fácilmente apreciables en la mayoría de los proyectos empieza a acumular personas, donde si no se han planificado previamente sus trazados estas estructuras pueden configurarse de maneras dinámicas y erráticas a través del espacio, donde en entornos con una superficie limitada fácilmente la formación espontánea de estas filas o patrones de espera, puede llegar a interferir con entradas, salidas y otros puntos de interés, los grupos de peatones que esperan pueden reducir la capacidad, y crear cuellos de botella para los peatones que pasan, como lo muestra (Davidich et al., 2013), en su trabajo se aplica un modelo espacialmente discreto en el que un peatón que espera se fija en una celda y no reacciona ante otros peatones de su vecindario, (Johansson et al., 2015, p. 3).

Ahora bien, todas las dinámicas previamente mencionadas obedecen a problemáticas frecuentes de encontrar en el espacio, las que dependen de asuntos relacionados a la geometría en general, factores propios del comportamiento humano o condiciones específicas derivadas de manifestaciones espontaneas, entre otros variables, donde cualquiera sea el caso todas estas expresiones, deben considerarse a la hora de diseñar utilizando los modelos de análisis previamente mencionados y contrastándolas con las propiedades y dinámicas de los flujos peatonales.



Figura 34: Imagen Interior del Hall central del Aeródromo Pichoy, donde se resalta en verde y rojo distintas filas que se desarrollan en el espacio, las líneas punteadas evidencian sus trazados donde se observa que la fila destacada en color azul tiende a cortar el espacio central dificultando la circulación.

Fuente: Elaboración Propia.



# 4.- Capítulo II, Introducción a la Simulación Digital.

4.1.- Conceptualización general de la Simulación Digital.

4.2.- Funcionamiento general de los Software de Simulación.

4.3.- Presentación de la Simulación Peatonal con enfoque de Arq.

4.4.- Demostración Introdutoria de la Simulación Peatonal en la Arquitectura.





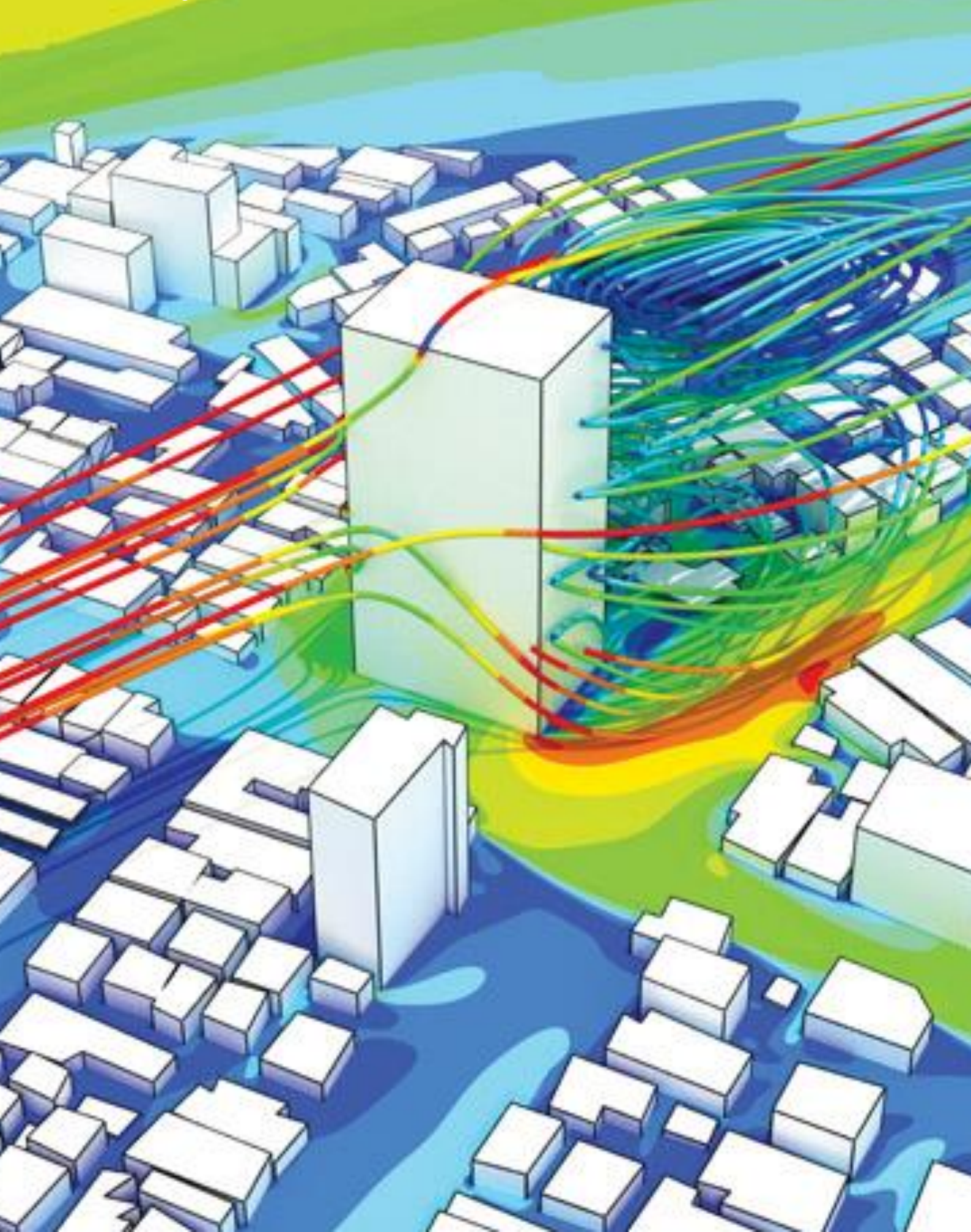
## 4.1.- Conceptualización general de la Simulación Digital.

Primeramente, la simulación digital se establece como una herramienta la cuál a través de la aplicación de modelos matemáticos pretende representar de manera aproximada eventos y circunstancias que se manifiestan en la realidad, donde se busca que el resultado de la simulación sea lo más cercano posible a la realidad, esto se manifiesta en el capítulo introductorio de *"Towards a microscopic model for analyzing the pedestrian mobility in an urban infrastructure"* donde se establece que la simulación es el proceso de crear un modelo y experimentar con él para comprender el comportamiento de un sistema real puesto que la experimentación con un modelo en lugar de trabajar con elementos del mundo real trae ahorros en términos de recursos humanos, económicos, tecnológicos y/o materiales, (Torres-Ruiz et al., 2018, p. 3), así esta tecnología pretende al representar fenómenos de la realidad en un entorno digital, generar información predictiva y analítica para solucionar, analizar y/o adelantarse a circunstancias que pueden ocurrir en la realidad, esto se expresa en *"Simulación: conceptos y evolución"*, donde se plantea *"Por su parte, la "Simulación", como técnica científica, se utiliza principalmente para el análisis y diseño de sistemas complejos y dinámicos de la realidad, ya que con sus principios, fundamentalmente intuitivos, permite la creación de escenarios de los sistemas, en los que se pueden explorar y experimentar diversas situaciones sin tener que afectar de manera directa la realidad sobre la que se busca actuar para mejorarla"* (Hiram Ruiz Esparza González, 2011, p. 3).

De este modo la simulación es una herramienta desarrollada en el marco de la era digital, la cual ha traído consigo avances tecnológicos, vinculados a la integración de las computadoras a los múltiples campos del conocimiento intelectual humano, *"Hoy la humanidad se ha alejado de la esfera de representación analógica, ahora el espacio de trabajo es el digital, a través de procesos y operaciones binarias, generan datos que pueden ser manipulados una y otra vez, se construye, se deconstruye y se destruye, generando información"* (Guzmán Mora & Calderón Stamatío, 2018, p. 295), de modo tal que esta tecnología aprovecha la capacidad de cómputo que ofrecen las

Figura 35: Imagen de una simulación de Fluidos aplicada sobre un proyecto abstracto en el software SIMSCALE, evidenciando las capacidades aplicables a la arquitectura de la simulación de distintas variables de proyecto.

Fuente: [www.aecmag.com](http://www.aecmag.com)





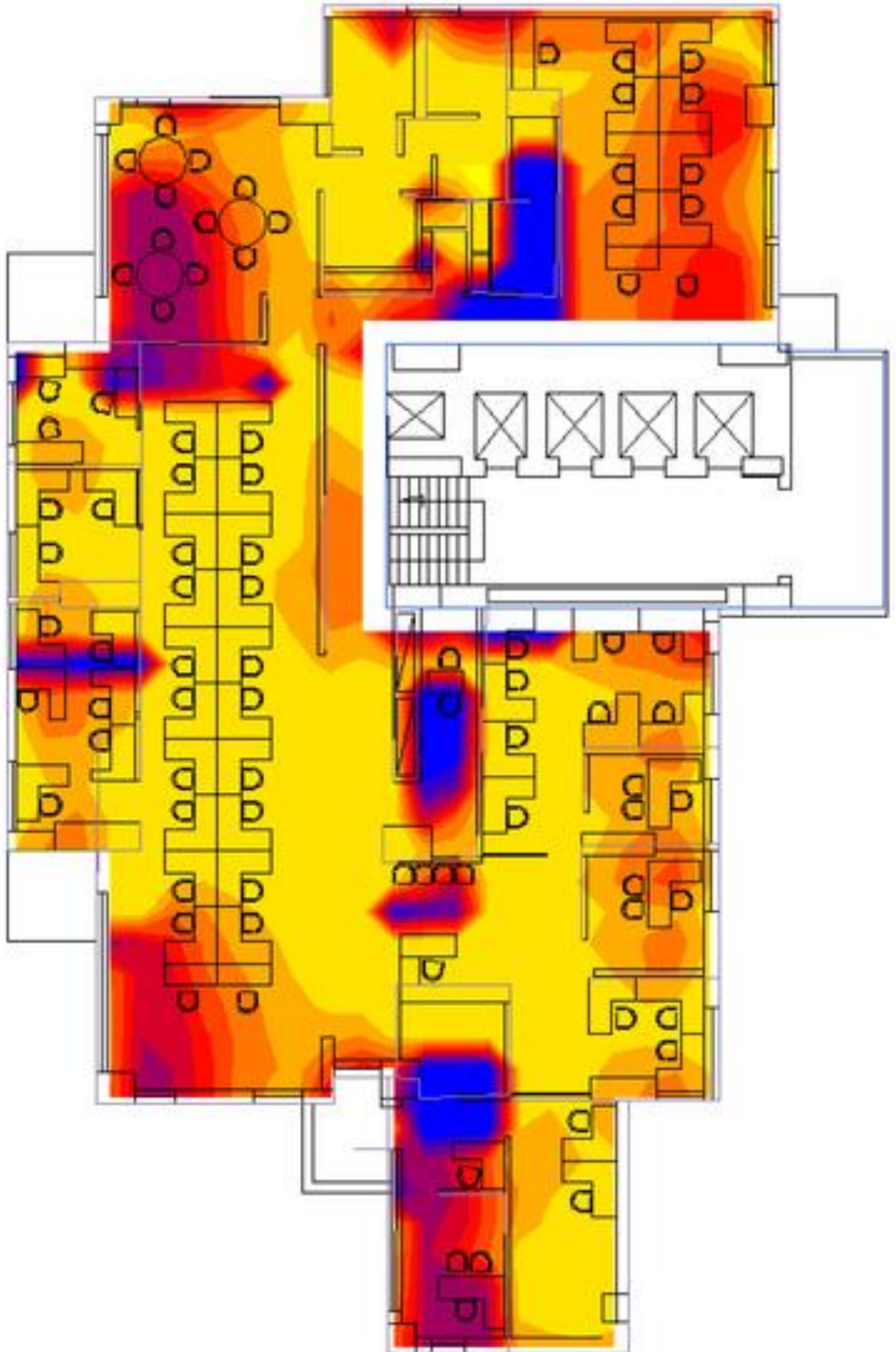
computadoras para aplicar algoritmos predictivos con el fin de simular algún fenómeno de la realidad, donde sin el apoyo de estas, la aplicación de los algoritmos predictivos sería imposible, dada la complejidad de los cálculos paralelos que se deben realizar, lo que excede la capacidad de lo que el ser humano promedio puede manejar normalmente, así fenómenos que gracias a sus condiciones y dinámicas, presentan desafíos a la hora de ser analizados, pueden ser tratados a través de estos modelos digitales, donde las múltiples variables que complejizan estos análisis pueden ser tomadas en consideración, de este modo es establecido para la simulación peatonal por Jalalian et. al. que, las herramientas computacionales son cruciales para mapear esta aleatoriedad en un modelo en tiempo real que simula el comportamiento de los peatones (Jalalian et al., 2011, p. 132).

Ahora bien, reduciendo esta definición a un campo disciplinar más cercano a la arquitectura, tal como se mencionó previamente la simulación digital se aplica comúnmente con el fin de adelantarse a fenómenos y condiciones que en general, los proyectos deberán enfrentar en su vida operativa, así estas herramientas en arquitectura se utilizan principalmente en la evaluación acústica, lumínica, térmica y en casos específicos se aplica también para la evaluación de corrientes de aire en edificios de gran altura, de este modo la esencialidad de la aplicación de la simulación en la arquitectura se ve expresada en la discusión teórica planteada en *"La simulación como herramienta de diseño y evaluación arquitectónica, paradigmas resueltos desde la ingeniería"* donde se establece que, *"En el caso de la arquitectura, la simulación se ha convertido en una herramienta fundamental"* (Trujillo & Cubillos-González, 2016, p. 124), así la arquitectura ha hecho propia tecnología donde cualquiera sea el campo de aplicación, esta permite obtener datos precisos y objetivos (considerando siempre que la simulación es una aproximación a la realidad), los cuales se pueden aplicar en el diseño del espacio.

Tomando lo anterior uno tiende a preguntarse el por qué se ha integrado esta tecnología a la arquitectura, donde la respuesta radica en el aumento de complejidad de los desafíos planteados para el desarrollo de los proyectos, así esta exigencia adicional se enmarca en la integración de distintos factores y variables, como, el ahorro de recursos, la eficiencia energética, el ahorro de espacio, la sustentabilidad, entre otros, los que presentan desafíos para los arquitectos sin precedentes en el

Figura 36: Imagen de un análisis lumínico desarrollado en "Evaluación postocupacional del confort lumínico en edificios de oficina" evidenciando lo relevante que la aplicación de la simulación en general puede llegar a ser en el desarrollo de la Arquitectura como disciplina.

Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl)





desarrollo de la disciplina, esto se ve presentado a través del concepto de *"innovación digital"*, el cual es definido en *"Desarrollo Digital Un Reto De Innovación En Arquitectura"* donde se expone, *"La innovación digital en arquitectura se puede definir como el uso de nuevas herramientas digitales y otros procesos de diseño evolutivo relevantes para mejorar el proyecto arquitectónico, la forma de construcción, la sostenibilidad, la prestación de servicios y la productividad"* (Guzmán Mora & Calderón Stamatío, 2018, p. 296), así esta integración de las tecnologías de simulación se está dando hoy en día tal como a mediados de los años 90' e inicios de los años 2000', se dio la integración de herramientas digitales en el desarrollo de planimetrías en los proyectos de arquitectura, lo que en su momento disparó las capacidades de los arquitectos en sí mismo para desarrollar proyectos con velocidades y atención al detalle nunca antes vistas, llegando al grado que el dibujo digital y las tecnologías "BIM" son el estándar en la actualidad, *"Resaltando las evoluciones en los medios computacionales emergentes que hoy están imperando en el ámbito de la disciplina de la arquitectura tanto en la academia como en los despachos de arquitectura, las herramientas digitales son un instrumento distintivo de modernidad y prestigio"* (Guzmán Mora & Calderón Stamatío, 2018, p. 296), de tal modo que la simulación digital está teniendo ya desde hace algunos años una incursión relativamente robusta en el desarrollo de proyectos, lo que con el tiempo tenderá a generalizarse, dadas las prestaciones de esta tecnología.

## 4.2.- Funcionamiento general de los Software de Simulación.

Para entender el funcionamiento de los software de simulación digital debe aproximarse primero a las condiciones sobre la cuales está desarrollada esta tecnología, así en primera instancia es necesario mencionar que es un *"modelo"*, este es un conjunto de relaciones matemáticas que pretenden describir el comportamiento esperado de fenómenos reales, así dependiendo de la complejidad, variabilidad y la incertidumbre presentadas, el modelo tendrá un desarrollo matemático más o menos extenso, donde la definición de modelo está expuesto en *"A Glossary for Research on Human Crowd Dynamics"* al plantear que un modelo es siempre una simplificación de la realidad que se centra en determinados aspectos, el

rango de validez o aplicabilidad es una parte esencial de cualquier modelo, por lo que un modelo es siempre una aproximación que tiene una aplicabilidad limitada, (Adrian et al., 2019, p. 6).

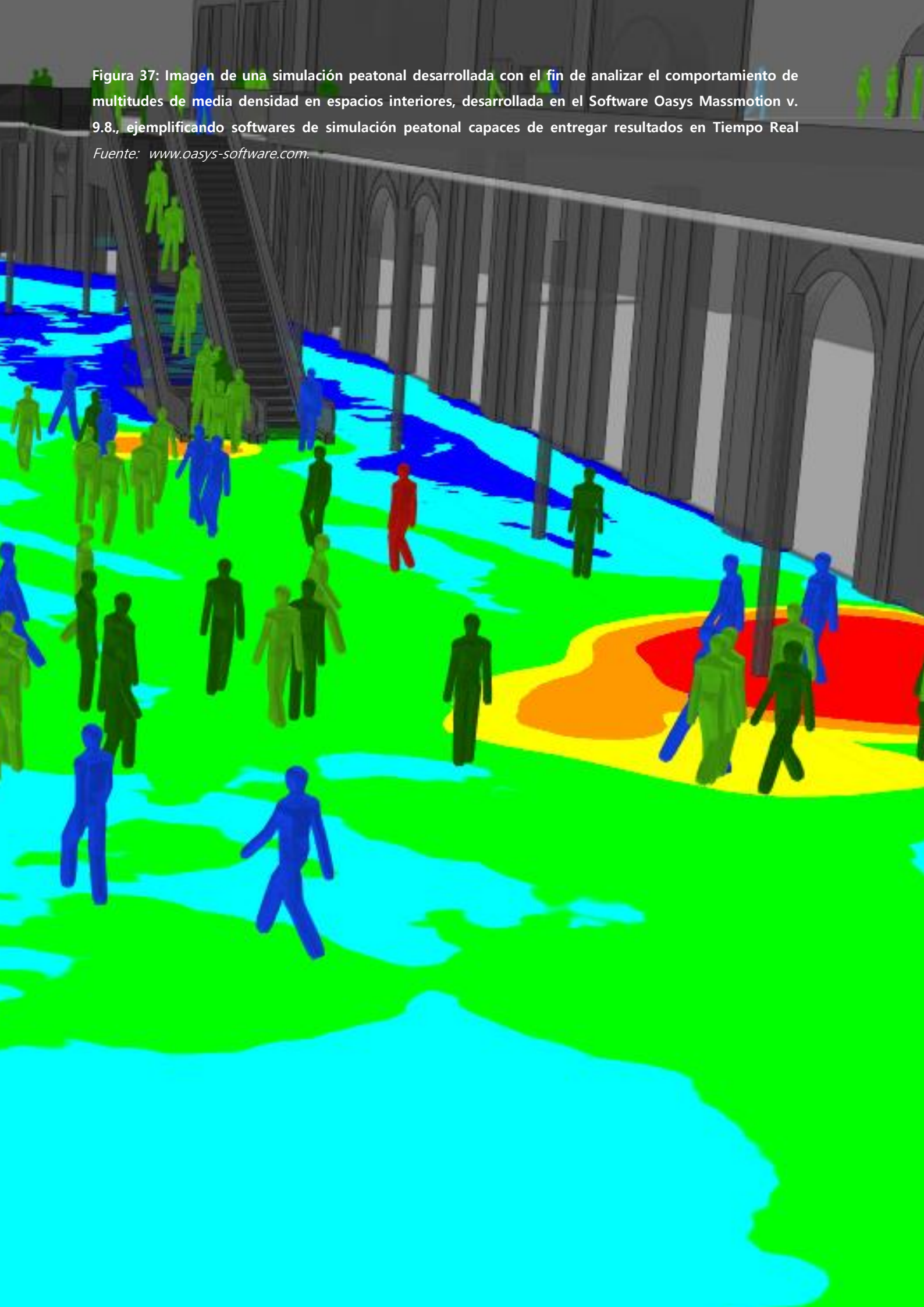
Entendiéndose así el concepto de modelo hay que profundizar en el funcionamiento general de los software de simulación, lo que se encuentra dado en principio por el fenómeno que se requiere analizar y el campo disciplinar al que se apunte, esto amplía las diferentes opciones de funcionamiento ya que en algunos casos los datos introducidos al modelo tenderán a ser de carácter numérico, donde el desarrollo del análisis no tiene una manifestación gráfica sino más bien los resultados de esta simulación se presentan como una serie de números que representan los datos necesarios para realizar el estudio y, en otros casos, la simulación se alimenta de datos numéricos que tienen alguna expresión gráfica, así el desarrollo de la simulación se presentará de manera concreta entregando sus resultados tanto numérica como gráficamente, en este último caso se presentarán las soluciones de software de simulación que por su mecanismo de trabajo y campo de aplicación pretenden dar resultados en tiempo real, capacidad que es particularmente atractiva para el desarrollo de la arquitectura donde la entrega de información en tiempo real suele ser útil a la hora de examinar el comportamiento de diferentes fenómenos y variables proyectuales.

Ahora bien, la construcción de una simulación con el fin de adelantarse al comportamiento de fenómenos en un proyecto de arquitectura debe ser a través de la integración de datos sobre la figura a analizar, de este modo el trabajo para configurar una simulación se establece a través de una metodología, la cual tiene por objetivo que el tratamiento de la información que la simulación recibe como insumo y que esta misma entrega como resultado, para que sea realmente aplicable en el desarrollo del proyectos, así esta aproximación a la realidad se expresa, *"Al aproximarse a alguna parte de la realidad en que acontecen fenómenos o existen problemas, el proceso para poder llevar a cabo una simulación que coadyuve a generar conocimiento o soluciones, requiere la realización de ciertas etapas"* (Hiram Ruiz Esparza González, 2011, p. 8).



Figura 37: Imagen de una simulación peatonal desarrollada con el fin de analizar el comportamiento de multitudes de media densidad en espacios interiores, desarrollada en el Software Oasis Massmotion v. 9.8., ejemplificando softwares de simulación peatonal capaces de entregar resultados en Tiempo Real

Fuente: [www.oasis-software.com](http://www.oasis-software.com).



## 4.3.- Presentación de la Simulación Peatonal con enfoque de Arquitectura.

Habiendo mencionado lo anterior se puede entrar ya al campo de la simulación peatonal, considerando que esta es una herramienta que permite analizar y predecir el comportamiento de los peatones en el espacio, así uno pensaría el por qué es relevante la integración de esta tecnología al que hacer arquitectónico, donde la respuesta tiene relación con lo expresado en el capítulo primero de esta investigación, ya establecida la extrema complejidad del análisis de flujos peatonales, se presenta la herramienta de la simulación peatonal que justamente permite un estudio mucho más acabado del fenómeno de los flujos peatonales en el desarrollo de proyectos.

La simulación peatonal como tecnología está, hasta cierto punto hoy en día, ligada al campo disciplinar de la ingeniería donde juega un rol de comprobación y análisis, asimismo y teniendo en cuenta sus potencialidades como tecnología sería posible tomar la simulación peatonal de la ingeniería y presentarla como una herramienta válida para el desarrollo de proyectos de arquitectura de pequeña y mediana escala, sin embargo para desarrollar esta integración primeramente es necesario entender la simulación peatonal con un enfoque de arquitectura, el que a diferencia del planteado por las ingenierías, deberá tener un rol en el análisis del desarrollo de los flujos peatonales durante la fase de concepción del proyecto de arquitectura, lo que tendría por objetivo que la información respecto del comportamiento de las personas en el espacio tenga una influencia en las estrategias y planteamientos del diseño del proyecto, así el enfoque de trabajo de arquitectura se presenta en *"Optimising crowd evacuations: Mathematical, architectural and behavioural approaches"*, donde se indica que el enfoque de diseño arquitectónico incluye cualquier solución que busque facilitar el flujo de multitudes mediante la realización de alteraciones en el entorno físico, (Haghani, 2020b, p. 2).

También es necesario entender que para la aproximación desde la arquitectura a la simulación peatonal existen ciertas limitaciones dadas por el avance de la tecnología actual, estas limitaciones

radican en la capacidad que tienen los softwares de ser fieles al comportamiento de masas observable en la realidad, así para solventar este inconveniente se ha planteado desde el desarrollo de estas herramientas, modelos a distintas escalas de análisis (estas escalas a pesar de tener relación con las escalas presentadas en el punto 3.4, hacen referencia a factores técnicos de los modelos de análisis y no a la aproximación directa de los flujos peatonales), esto se expresa en *"Towards a microscopic model for analyzing the pedestrian mobility in an urban infrastructure"*, donde se plantea que en el modelado y simulación de peatones, hay dos enfoques principales: macroscópico y microscópico, (Torres-Ruiz et al., 2018, p. 4), donde la descripción específica de estas escalas sería:

- Escala Macroscópica, que hace referencia a un comportamiento generalizado en el entorno de análisis, así al estar planteado como un modelo general éste deja de lado factores del comportamiento humano, de modo tal que los modelos de análisis macroscópico en entornos de simulación peatonal normalmente están basados en lo que se conoce como grillas las que proveen el ordenamiento básico para la circulación de los agentes que representan a los peatones en la simulación, sin embargo este sistema tiene algunos problemas muy marcados a la hora de representar ciertos comportamientos que son visibles en multitudes, pero que dependen de factores que normalmente se dejan de lado en un entorno macroscópico y que son confirmados en las conclusiones de *"Macroscopic pedestrian flow simulation using Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)"* donde se indica que los métodos numéricos basados en cuadrículas que se utilizan generalmente para resolver modelos macroscópicos de flujo de peatones tienen varias deficiencias que limitan su aplicabilidad como por ejemplo, la necesidad de generar y remallar la cuadrícula, y límites poco claros, (Yuan et al., 2020, p. 350), ahora bien para solucionar estos problemas relacionados al espectro macroscópico se ha desarrollado modelos como por ejemplo, el modelo de análisis *"SPH"* el cual trabaja presentado al peatón en el entorno macroscópico como una partícula con propiedades hidrodinámicas, resolviendo los problemas relativos al comportamiento en base a grillas de los modelos macroscópicos, permitiendo un análisis más exacto desde una perspectiva macro sin aumentar los requerimientos de cómputo, así el estudio sobre el desarrollo y aplicación del modelo macroscópico de análisis de flujos *"SPH"* expone que la hidrodinámica de partículas



suavizadas (SPH) es un método numérico sin malla que potencialmente puede superar algunas de estas limitaciones para resolver modelos macroscópicos de multitud y mostrar su potencial para la simulación macroscópica estableciendo que un modelo macroscópico de flujo de peatones se puede resolver utilizando el método SPH, y esto conduce a resultados de simulación significativos, (Yuan et al., 2020, p. 350).

- Escala Microscópica, esta escala de análisis permite una aproximación más exacta sobre el comportamiento real de los individuos en el espacio, así el modelo al considerar muchos más factores que los de escala macroscópica puede entregar datos conforme a dinámicas relativas al comportamiento de los individuos en entornos específicos y por otro lado, en los modelos microscópicos, los peatones se representan como individuos que poseen un comportamiento, características e interacciones esenciales para su simulación, (Torres-Ruiz et al., 2018, p. 5), considerando la influencia de factores ambientales y del espacio que no necesariamente son relativos a los flujos peatonales, sin embargo el principal inconveniente de estos modelos de análisis es su elevado consumo de capacidad de cómputo, lo que normalmente limita su acción a zonas específicas de los proyectos, además la aproximación microscópica posee múltiples sub niveles o categorías, donde estas son relativas a la capacidad y el fin para el cual se utilicen, los modelos microscópicos se clasifican en tres categorías: continuos, semicontinuos y discretos (Guo et al., 2010). En un modelo microscópico continuo, el universo de valores posibles para sus variables es el conjunto de números reales siendo uno de los más citados el de fuerza social propuesto por (Helbing & Molnár, 1995) en que sugiere que el movimiento de personas puede describirse como si estuviera sujeto a "fuerzas sociales" que repelen o atraen a los peatones. En los modelos semicontinuos, algunas de sus variables son continuas y otras discretas, ejemplos de este tipo de modelos son los planteados por Helbing & Molnár, (Th. Robin, G. Antonini, M. Bierlaire, 2009), en los que el comportamiento de los peatones se modela a partir de elecciones discretas. En (Guo et al., 2010), existe un enfoque similar, donde se tiene en cuenta el cuerpo de cada peatón tratándolos no como partículas sino como entidades que ocupan un área, pudiendo así simular multitudes de alta densidad, (Torres-Ruiz et al., 2018, p. 5).

Finalmente al tratar la simulación peatonal con enfoque de arquitectura se debe pretender explotar las capacidades predictivas de los distintos modelos y softwares, con el fin de aplicar esta tecnología en el desarrollo de los proyectos afectando las decisiones de diseño, antes de que estos estén concretados, con el fin de adecuarse a la complejidad creciente de la actualidad y superar los desafíos presentados por la arquitectura de aquí en adelante, relativos a los flujos peatonales en proyectos de mediana y pequeña escala.

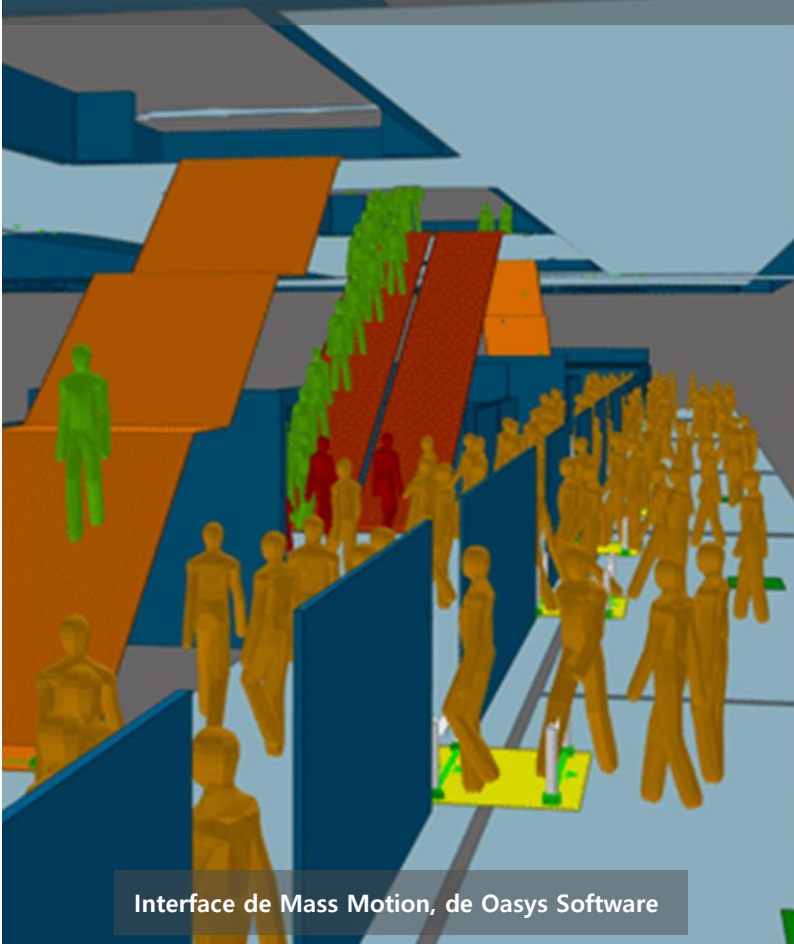
## 4.4.- Demostración Introdutoria de la Simulación Peatonal en la Arquitectura.

Habiendo ya presentado en el desarrollo de este capítulo una contextualización relativa a la simulación en general y a la simulación peatonal en particular como herramienta de diseño arquitectónico, se pretende presentar la simulación peatonal con un enfoque de arquitectura a través de una solución de software en específico con el fin de entender esta tecnología más en profundidad y preparar el análisis experimental que se desarrollará en el Capítulo Cuarto de esta investigación.

De este modo tomando en cuenta lo anterior, es necesario mencionar que en el campo de la simulación peatonal existe una cantidad considerable de soluciones de software, sin embargo, este universo se reduce cuando uno pretende encontrar un programa que tenga como fin en específico el analizar las dinámicas y flujos peatonales en relación con el espacio, de este modo se presentan las 4 soluciones de software más relevantes que existen en la actualidad, estas serían, "*Mass Motion v. 11.0'*" de "*Oasys Software*", "*Sim Crowds*" de "*U-Crowds*", "*Legion*" de "*Bentley*" y "*Ped Sim Pro v. 1.2'*" de "*Parametric Design Studio*", de este modo para el desarrollo de esta investigación se seleccionará "*Ped Sim Pro v. 1.2'*" de "*Parametric Design Studio*", por tres motivos principales.

El primer motivo radica en la naturaleza del programa ya que, a diferencia de los tres programas anteriormente mencionados, esta solución de software en particular es un complemento o "*plug-in*", de "*Grasshoper*", el cual, a su vez, es un complemento ampliamente utilizado del programa "*Rhino Ceros*", para el caso específico de esta investigación se utilizará la versión 7.1 del antes mencionado "*Rhino*" el

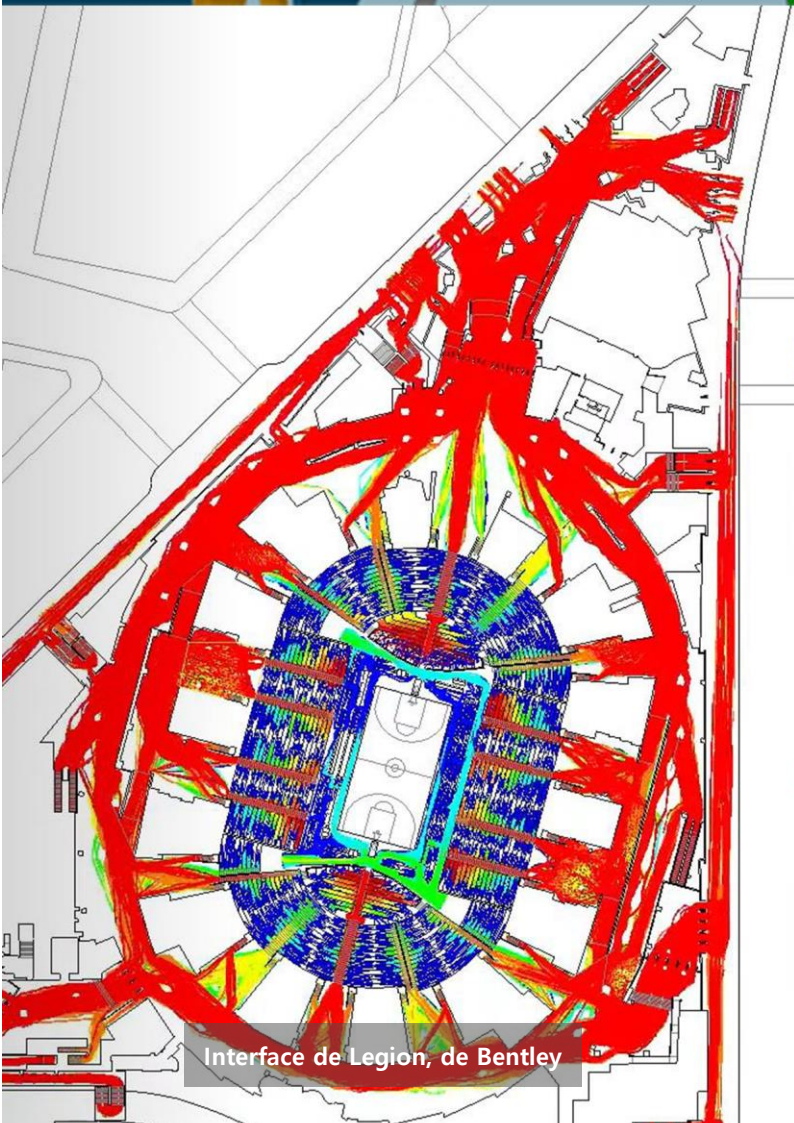
Figura 38: Imágenes comparativas de los distintos software mencionados anteriormente, Fuente: (Arriba Izquierda) [www.aecmag.com](http://www.aecmag.com). (Arriba Derecha) [www.ucrowds.com](http://www.ucrowds.com). (Abajo Izquierda) [www.youtube.com](http://www.youtube.com). (Abajo Derecha) [www.youtube.com](http://www.youtube.com).



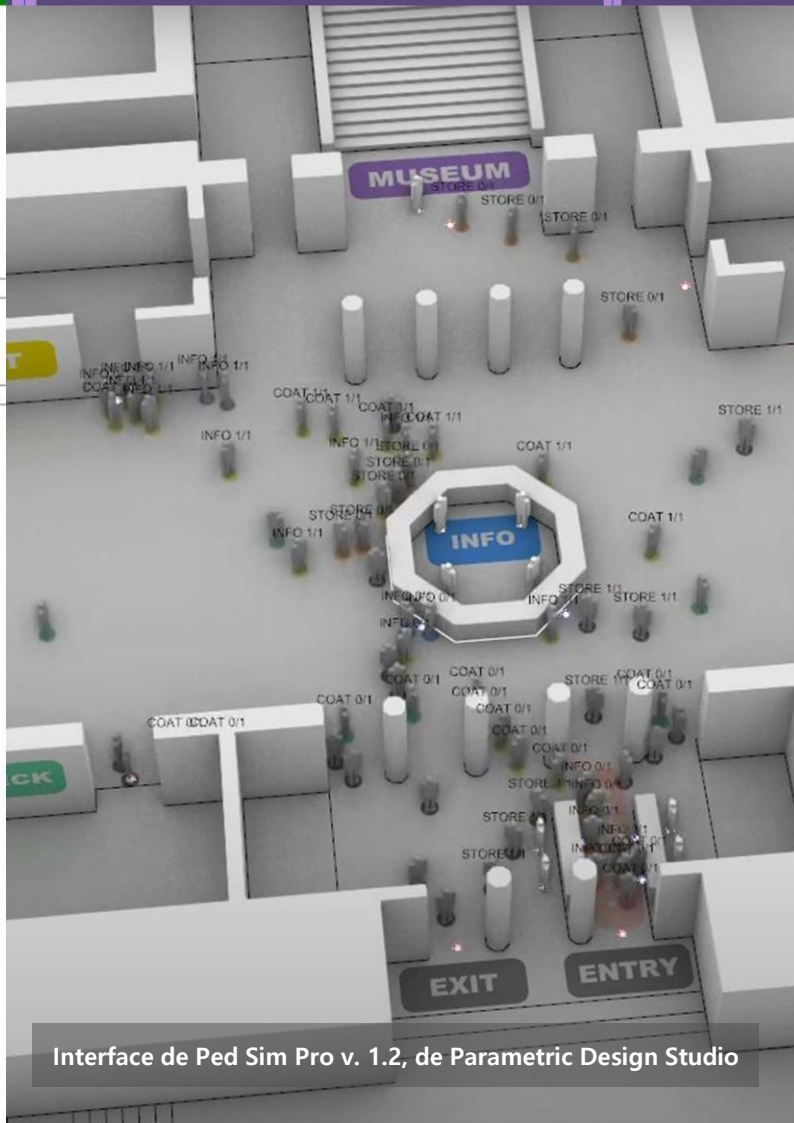
Interface de Mass Motion, de Oasys Software



Interface de Sim Crowds, de U-Crowds



Interface de Legion, de Bentley



Interface de Ped Sim Pro v. 1.2, de Parametric Design Studio



cual trae integrado el referido complemento "*Grasshoper*", de este modo al basarse este software de simulación en una plataforma tan versátil y ampliamente utilizada en el campo de la arquitectura, permite la compatibilidad de diferentes formatos de dibujo digital, permitiendo una fácil construcción de la simulación, en base a proyectos en desarrollo independientemente de su etapa de conceptualización.

El segundo motivo radica en la escala de análisis y las prestaciones particulares del programa, donde la escala de análisis desarrollada por la solución de software es más cercana con el nivel microscópico antes descrito, a diferencia de los demás software expuestos que tienden a representar una escala de análisis macroscópica, dejando de lado algunos elementos importantes para el desarrollo del análisis de flujos peatonales con perspectiva disciplinar de diseño arquitectónico, así "*Ped Sim Pro*" permite integrar datos a la simulación que generarían un comportamiento más individual y cercano a la realidad de los peatonales simulados, además dentro de las prestaciones que el programa presenta, están las variadas herramientas que se pueden utilizar, junto a la compatibilidad con bloques de "*Grasshoper*", permitiendo la versatilidad del programa y del resultado de la simulación en función de las necesidades del usuario, esta versatilidad permite crear múltiples perfiles de personas con distintas probabilidades de aparición, variando sus características desde dimensiones corporales hasta velocidad de movimiento, permitiendo generar multitudes heterogéneas con intereses diferidos, estas prestaciones se trataran en detalle más adelante.

El Tercer y último Motivo para la selección radica en el nivel de accesibilidad que este software presenta, asunto ligado a su condición de "*plug-in*", ya que a diferencia de los demás programas antes mencionados los costos de utilización de este software son considerablemente inferiores a cualquier otra opción, funcionando a través de un sistema de arrendamiento mensual, donde la tarifa de uso es de 39 U\$/mes, alrededor de un 5% - 12% del costo promedio de las demás soluciones de software, presentando una calidad comparable con las demás alternativas, con el beneficio de operar en el ecosistema de "*Grasshoper*", con todo lo que eso implica, esto sumado a que "*Ped Sim Pro*" posee paralelamente una herramienta de simulación peatonal de carácter gratuito, lo que amplía su posible espectro de aplicación, adicionalmente el uso de este software es relativamente simple, permitiendo que usuarios

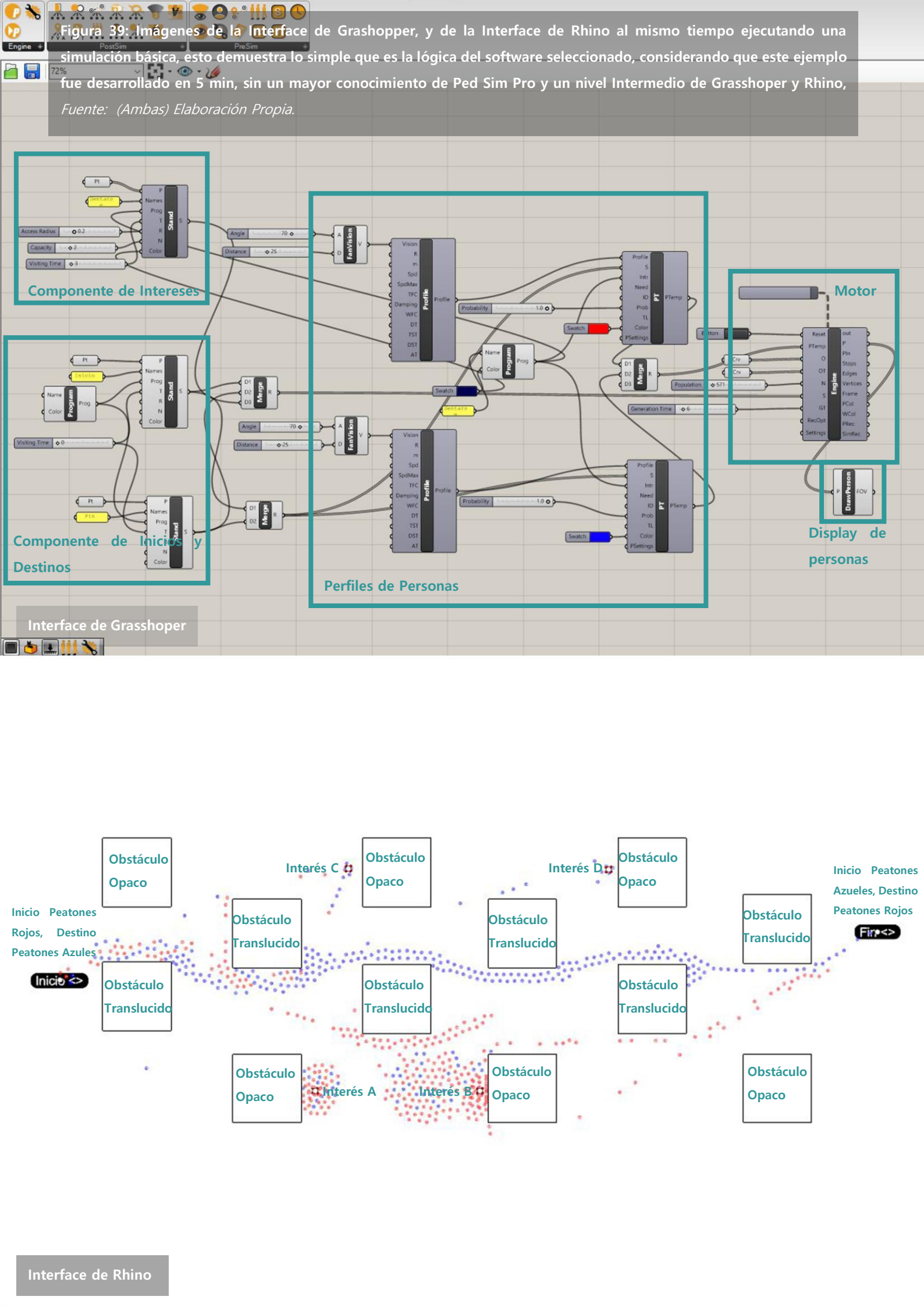


Figura 39: Imágenes de la Interface de Grasshopper, y de la Interface de Rhino al mismo tiempo ejecutando una simulación básica, esto demuestra lo simple que es la lógica del software seleccionado, considerando que este ejemplo fue desarrollado en 5 min, sin un mayor conocimiento de Ped Sim Pro y un nivel Intermedio de Grasshoper y Rhino,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.

Componente de Intereses

Componente de Inicios y Destinos

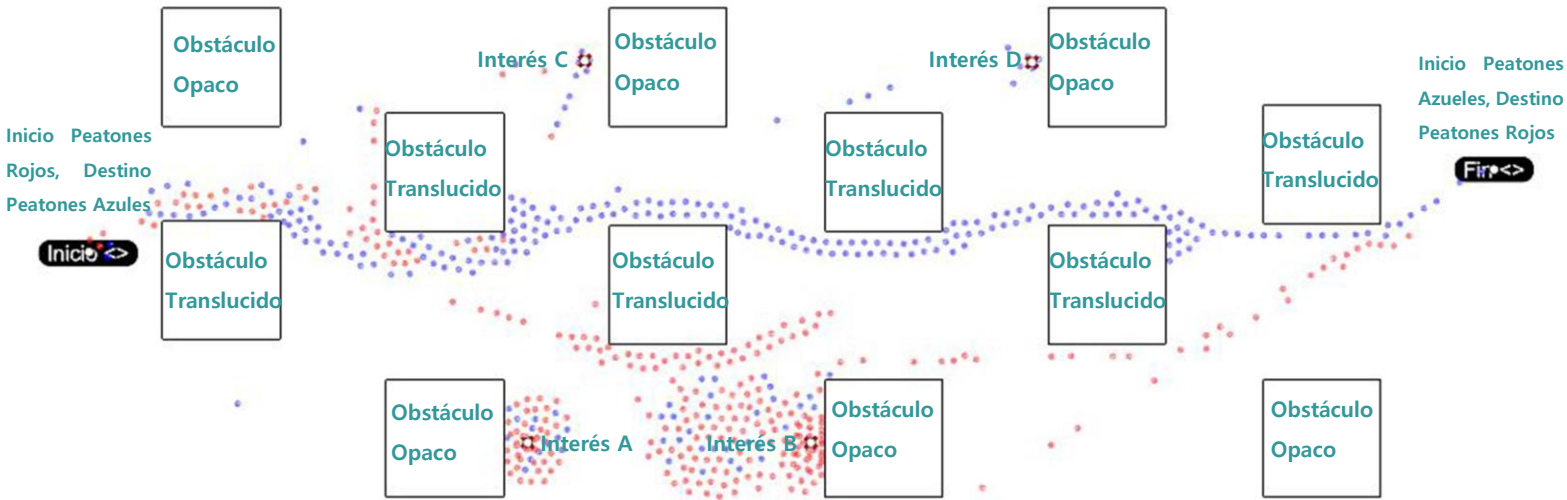
Perfiles de Personas

Motor

Display de personas

Interface de Grasshopper

Interface de Rhino



de nivel Básico e Intermedio de *"Rhino"* y *"Grasshoper"*, puedan operarlo con relativa facilidad, y construir simulaciones de una complejidad suficiente para los análisis requeridos en la Arquitectura.

Ahora bien, habiendo particularizado la solución de software específica a utilizar en esta investigación y ya presentados los motivos para la selección de este programa, es necesario introducirse en el funcionamiento general, sus prestaciones, capacidades y requerimientos. Primeramente hay que explicar la lógica general de *"Ped Sim Pro"*, la cual se basa en *"Grasshopper"*, de este modo programa divide sus distintos componentes en 3 categorías, Pre Simulación, Motor y Post Simulación, ahora bien los componentes correspondientes a la categoría de pre simulación son aquellos destinados a la configuración de los obstáculos, orígenes, destinos e intereses que los peatonales simulados enfrentaran, adicionado a esto también los distintos perfiles de peatones y configuraciones del espectro grafico tales como color e identificación de cada peatón, nombres de los intereses, espacio disponible de estos, tiempo de vista, etc.

Posteriormente los componentes que califican en la categoría de Motor son aquellos que permiten compilar la información configurada junto con la geometría de los obstáculos, configuraciones relativas al tiempo de generación de peatones y la población máxima de la simulación, con el fin de aplicar la secuencia de instrucciones que desarrollarla la simulación, de este modo existen dentro de esta categoría herramientas destinadas a reproducir la simulación con posterioridad y la aplicación de configuraciones avanzadas.

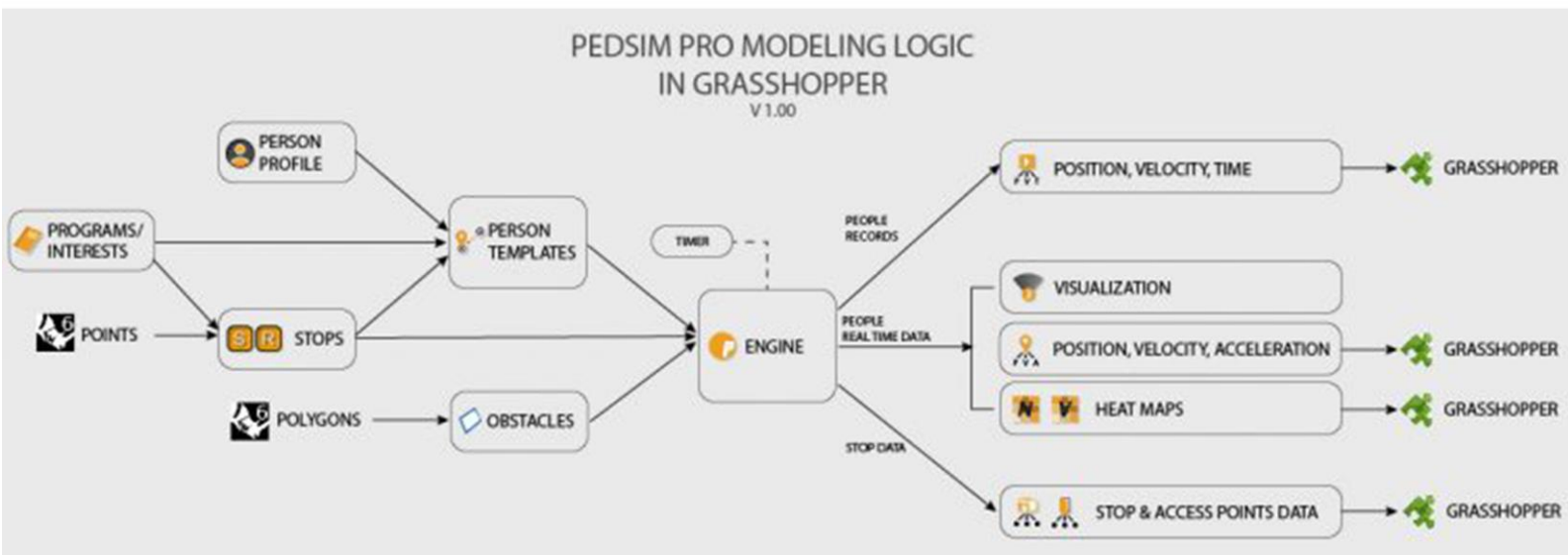
Finalmente, la categoría de post simulación cubre todos los componentes relativos la representación de la información generada por la simulación, desde el mostrar los peatones en el espacio tanto en 2D como en 3D, hasta generar mapas de calor de densidad y velocidad configurables, pasando también por la entrega de datos numéricos tabulados relativos a la velocidad de cada agente en el espacio o bien otros factores avanzados.

Si bien el programa en específico es extremadamente amplio y versátil, para efectos de esta investigación, el foco se centrará en utilizar la lógica general especificada por el desarrollador del software, de este modo también hay que mencionar que, para construir una simulación que resulte satisfactoria en este programa particularmente, hay que cumplir con 5 pasos críticos, estos serían:

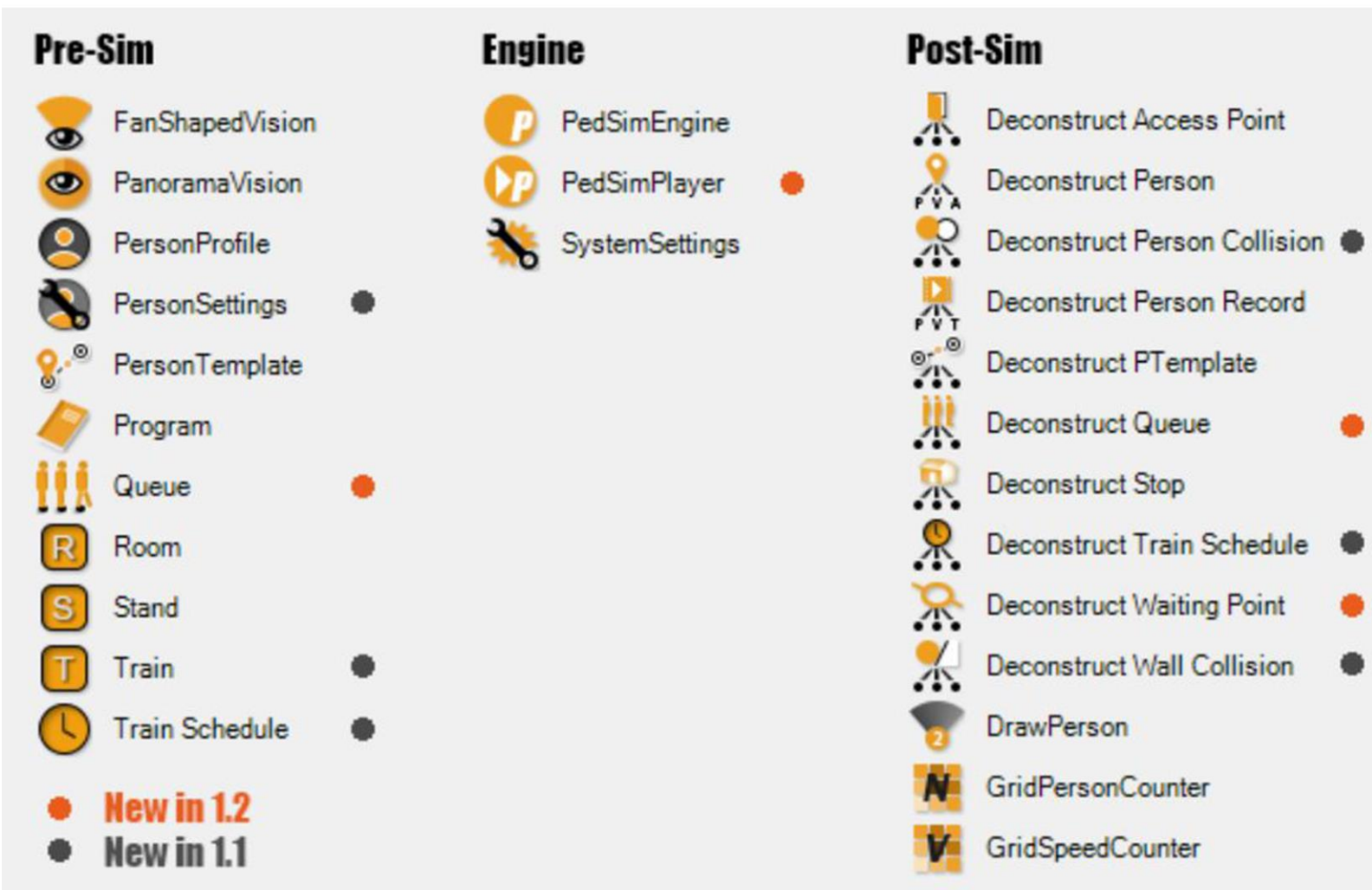


Figura 40: Esquemas de Funcionamiento y lógica de Ped Sim Pro,

Fuente: (Ambas) [www.pedsim.net](http://www.pedsim.net)



Esquema de lógica de modelado en Grasshoper utilizando Ped Sim Pro v. 1.0, indicando entradas de información y salidas de la misma, la lógica de la versión 1.0 es aplicable también a la versión 1.2 que es la utilizada en esta investigación.



Primero, establecer la geometría del espacio a analizar en planta, ya que este programa de simulación en particular, solamente reconoce geometría bidimensionales, además la geometría del espacio a analizar debe estar idealmente bien dibujada en una o varias polilíneas, lo que permite optimizar los recursos de cómputo disponibles para el programa, también se debe, al construir el espacio de la simulación, separar los obstáculos del espacio entre opacos y translucidos, refiriéndose a obstáculos opacos como, todas aquellas geometrías que representarían un bloqueo total de la visión del peatón y que naturalmente representen una bloqueo en su desplazamiento (ej. Muros Estructurales, Pilares, Tabiques Opacos, etc.) y refiriéndose a obstáculos translucidos como, todas aquellas geometrías que representen un obstáculo en el desplazamiento pero que no representen un bloqueo de la visión (ej. Mobiliario, Ventanas, Tabiques Translucidos, etc.).

Posteriormente el segundo paso es Identificar las detenciones en el espacio a analizar, donde primero se deben identificar las entradas y salidas (Orígenes y Destinos) del espacio, de este modo estos serán los puntos donde se originara y finalizaran los distintos flujos peatonales, también dentro de este punto es posible configurar un punto de aparición denominado por la herramental como Tren, el cual genera o retirara de la simulación masas de peatonales de golpe en una cantidad determinada cada cierto tiempo, tal como lo haría un vagón de tren o metro, posteriormente es necesario identificar los puntos en el espacio que representarían un interés para los eventuales peatones simulados, tales como, Asientos, Puntos de Control del recorrido, Salas, Atractores Visuales, etc., donde dadas las capacidades del programa estos espacios se pueden configurar como puntos de detención donde existe la posibilidad de configurar distintas y variables para cada uno como, radio de uso, tiempo de permanecía y cantidad de ocupantes, además es posible configurar estos puntos como los denominado en el programa como salas, lo que implica que está parada se considerada por el programa como el punto de acceso a un ambiente con una capacidad configurable y con un tiempo de permeancia variable, la particularidad de esta variante de los puntos de interés es que, permite ahorrar recursos computacionales al ocultar de la simulación los peatones en su interior, también es posible configurar dentro de los puntos de control la formación de filas desde un punto en específico, lo que genera un patrón de espera donde los peatones simulados tendrán acceso al punto de interés o control una vez llegue su turno.

Consecuentemente el tercer paso para construir una simulación es identificar los diferentes perfiles de personas, estos serían los diferentes tipos de peatones que conformarían el flujo, donde es posible establecer variables para cada uno como origen, destino, intereses particulares, prioridades en los intereses, probabilidad de aparición, velocidad, distanciamiento, aceleración, dimensiones corporales, campo y distancia de visión, entre otros parámetros avanzados, de este modo existe la posibilidad de configurar una multitud heterogénea con intereses distribuidos, además con las configuraciones de tamaño y velocidad es posible configurar peatones de distintos grupos etarios o grupos de personas (*refiriéndose a los expuesto en la Fig. 24*), donde además con la configuración de distanciamiento es posible generar una simulación considerando condiciones de distanciamiento físico.

El Cuarto paso para lograr configurar una simulación en *"Ped Sim Pro"* es identificar la cantidad máxima esperada de ocupantes del espacio, lo que se define como la población total de la simulación, donde en cuanto se alcance este número, los peatones no seguirán apareciendo en el origen, además es necesario en este paso compilar la información antes identificada y configurada en el motor de la simulación, especificando un tiempo de generación de los peatones en segundos, de este modo es necesario hacer los cálculos previos según el proyecto a analizar, de todos modos estos parámetros son fácilmente editables durante el transcurso de la simulación, permitiendo el trabajo y calibración de estas variables a través del ensayo y error de ser necesario.

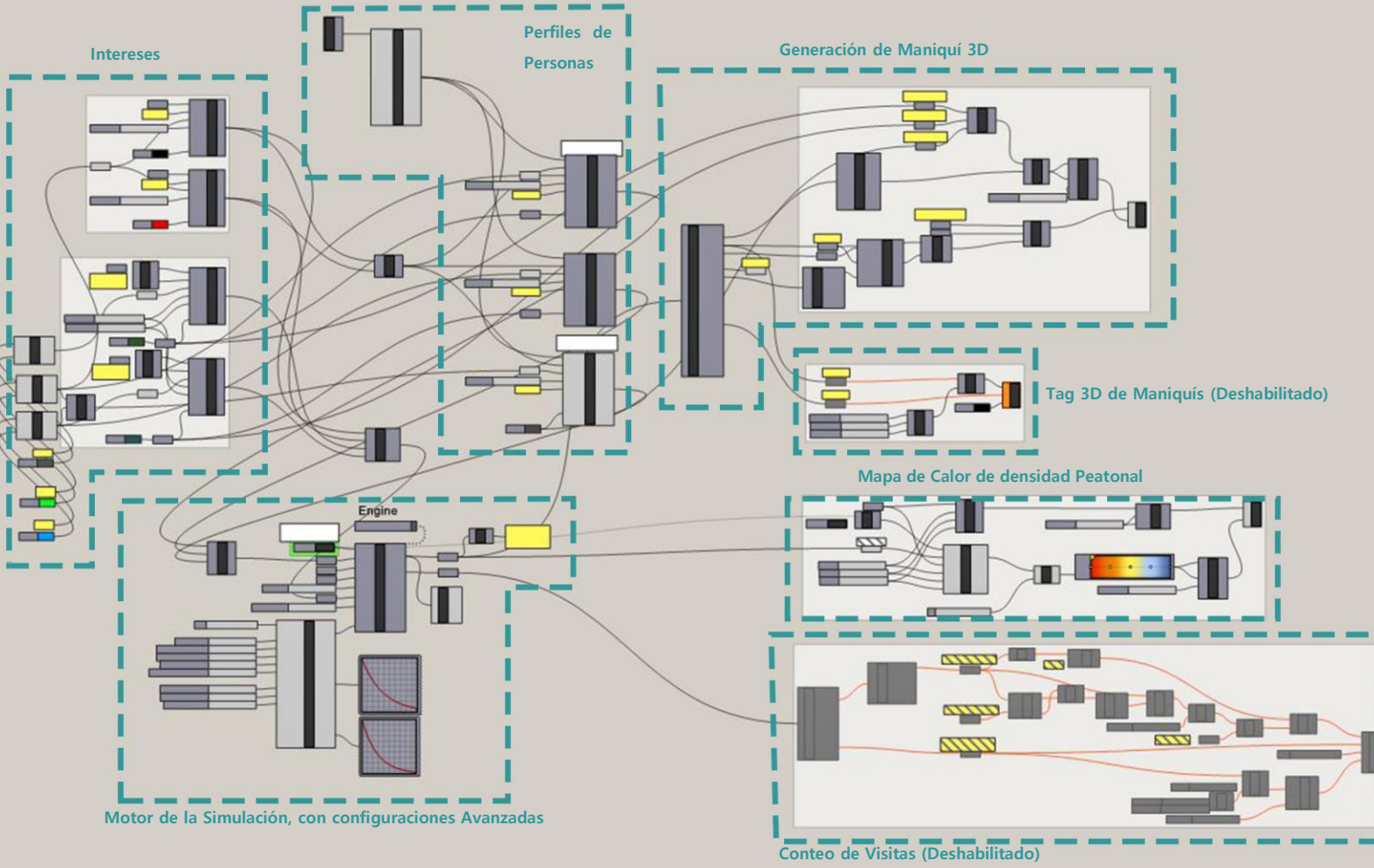
Finalmente, para lograr el último paso en construcción de una simulación es necesario identificar las salidas de información requerida, desde los mapas de calor de velocidad y densidad de uso, tabulación de datos específicos por peatón, mostrar el campo y distancia de visión de los peatones en el espacio, sus rutas, interacciones y la posibilidad de mostrar un maniquí tridimensional sobre el espacio asignado del peatón para vistas en axonométrica, así este último paso, es en general una manera de representar tanto gráficamente como numéricamente los datos que la simulación genera, para desarrollar los análisis requeridos. Finalmente es necesario acotar que el programa de simulación utiliza metros como unidad de distancia, segundos como unidad de tiempo y m/s como unidad de velocidad, lo que se debe tener en cuenta a la hora de configurar esta o interpretar sus datos.



Así para finalizar la presentación del software de simulación seleccionado es necesario pasar a la demostración introductoria de la simulación peatonal en la arquitectura, donde se presentarán 3 ejemplos de carácter abstracto y simplificado con el fin de evidenciar lo antes mencionado y preparar el desarrollo del capítulo cuarto, de este modo los 3 ejemplos serian:

- El Primer ejemplo representa un espacio comercial de 18m por 20m donde hay distribuidos en este espacio 18 elementos que representan obstáculos traslucidos, donde cada uno de estos presenta 3 puntos de interés por lado longitudinal, cada punto de interés posee espacio para una sola persona y un tiempo de visita de 10 segundos, ahora bien el espacio está dividido simétricamente donde los puntos de interés correspondientes al lado derecho de este, están ligados a un perfil de persona en específico el cual al aparecer, accederá al punto de interés más cercano posible y disponible, donde buscara salir del lugar pasado el tiempo de visita, este perfil tiene una probabilidad de aparición del 50%, mientras que el otro 50% de la población de la simulación buscara tomar los puntos de interés del lado izquierdo, así la población de la simulación está fijada en 20 personas y el tiempo de aparición en 24 segundos entre personas, finalmente también está configurado un perfil de persona que represente el 20% teniendo un interés aleatorio entre ambos lados del espacio, reduciendo la probabilidad de aparición de los otros perfiles a un 40% de la población de la simulación, además este ejemplo tiene habilitadas las funcionalidades de mapa de calor de densidad, teniendo este ejemplo por objeto demostrar la funcionalidad de los distintos perfiles de personas y puntos de interés además de mostrar la funcionalidad del mapa de calor de densidad peatonal.

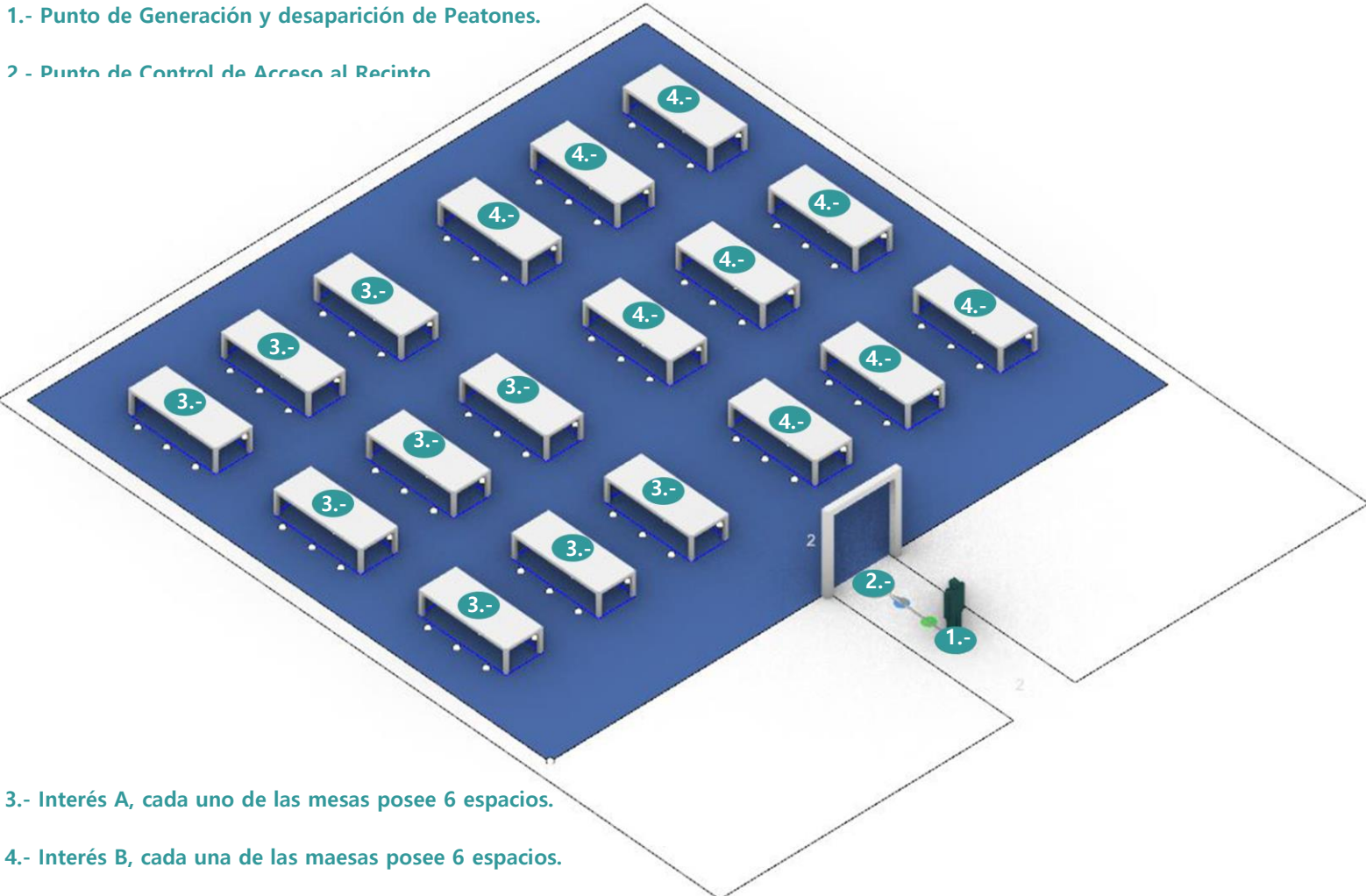
Figura 41: Interface de Grashopper con los componentes de simulación comprada con el modelo desarrollado en Rhino, Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo y Build de Grashopper basados en ejemplos demostrativos incluidos con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.



Build de la Simulación desarrollado en Grashopper, destacando los distintos componentes.

1.- Punto de Generación y desaparición de Peatones.

2 - Punto de Control de Acceso al Recinto



3.- Interés A, cada uno de las mesas posee 6 espacios.

4.- Interés B, cada una de las maesas posee 6 espacios.

Interface de Rhino, mostrando en azul la base del mapa de calor de densidad peatonal, y en líneas negras los límites del espacio.

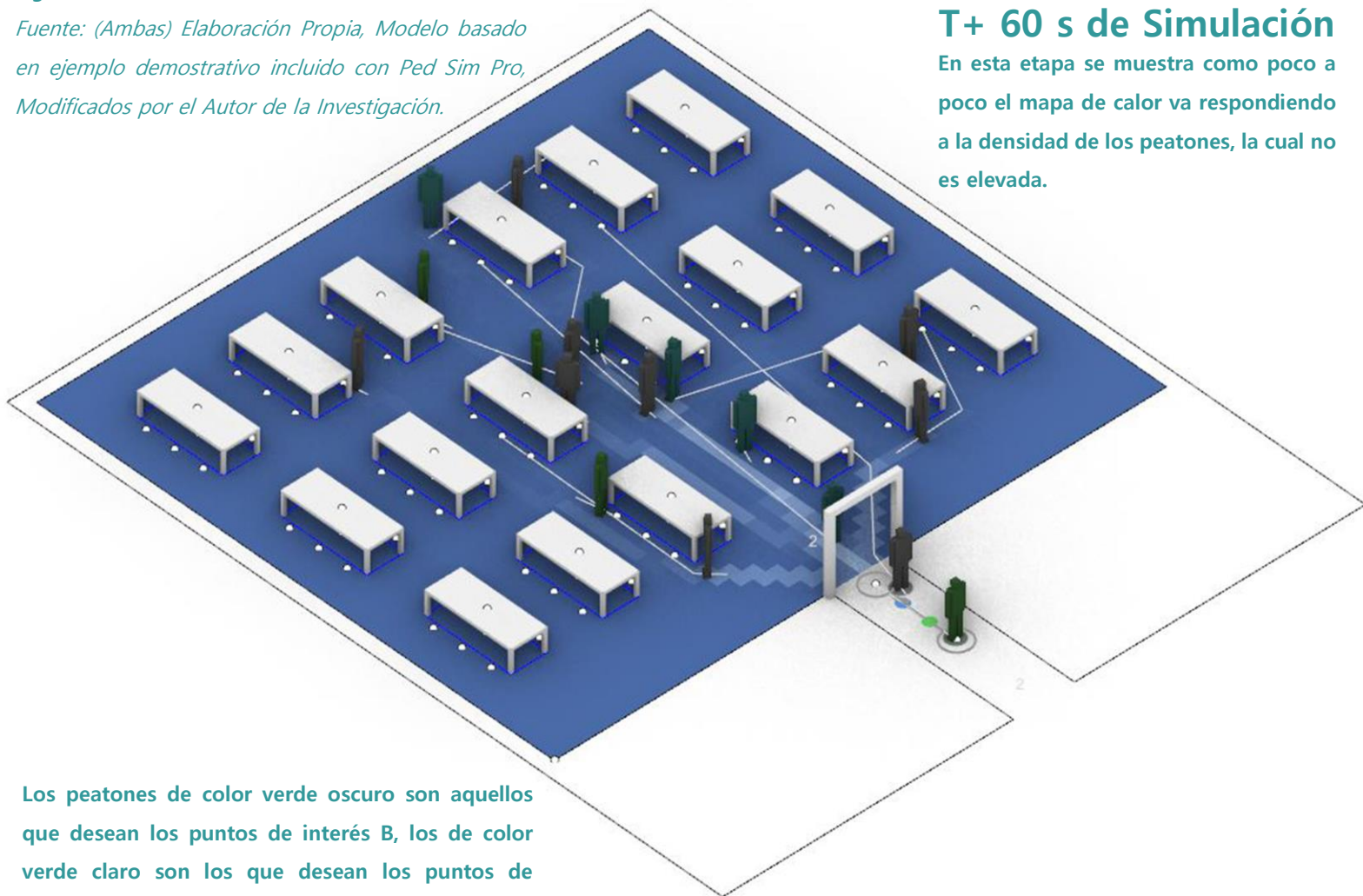


**Figura 42: Evolución del desarrollo de la Simulación,**

*Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo basado en ejemplo demostrativo incluido con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.*

## T+ 60 s de Simulación

En esta etapa se muestra como poco a poco el mapa de calor va respondiendo a la densidad de los peatones, la cual no es elevada.



Los peatones de color verde oscuro son aquellos que desean los puntos de interés B, los de color verde claro son los que desean los puntos de interés B, y los de color gris son los que desean salir de la simulación o ambos puntos de control, las líneas blancas representan las rutas a desarrollar por los peatones simulados, todos los peatones median 175 cm de altura para fines de escala.

## T+ 120 s de Simulación

En esta etapa se muestra como el mapa de calor va aumentando en tonalidades amarillas representando un aumento de la densidad en ciertos puntos.

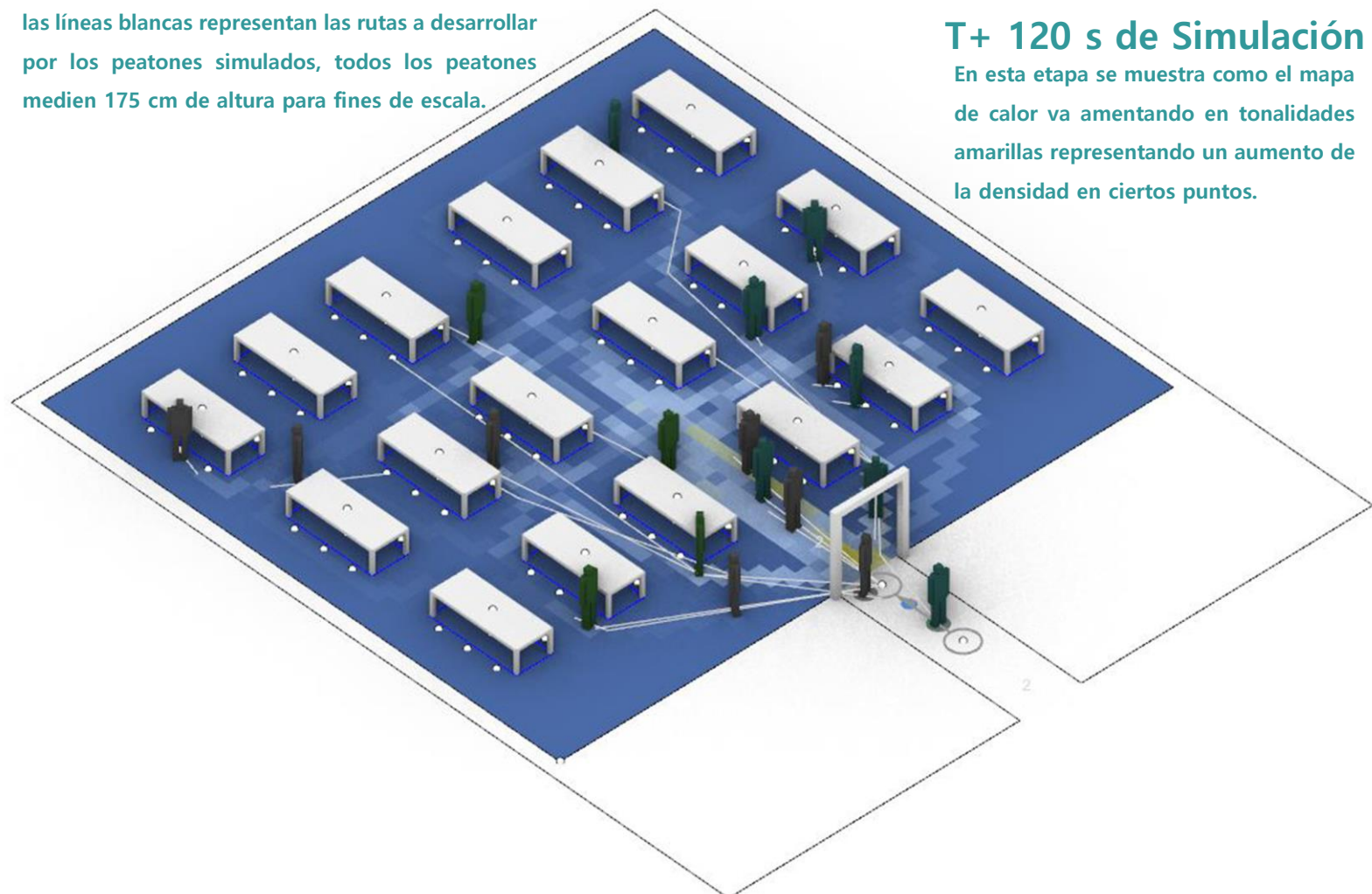




Figura 43: Evolución del desarrollo de la Simulación,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo basado en ejemplo demostrativo incluido con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.



## T+ 180 s de Simulación

En esta etapa se muestra como el mapa de calor evidencia los puntos de más tráfico y empieza a mostrar los puntos de tráfico intermedio hacia los externos del recinto.

Los peatones de color verde oscuro son aquellos que desean los puntos de interés B, los de color verde claro son los que desean los puntos de interés B, y los de color gris son los que desean salir de la simulación o ambos puntos de control, las líneas blancas representan las rutas a desarrollar por los peatones simulados, todos los peatones medien 175 cm de altura para fines de escala.

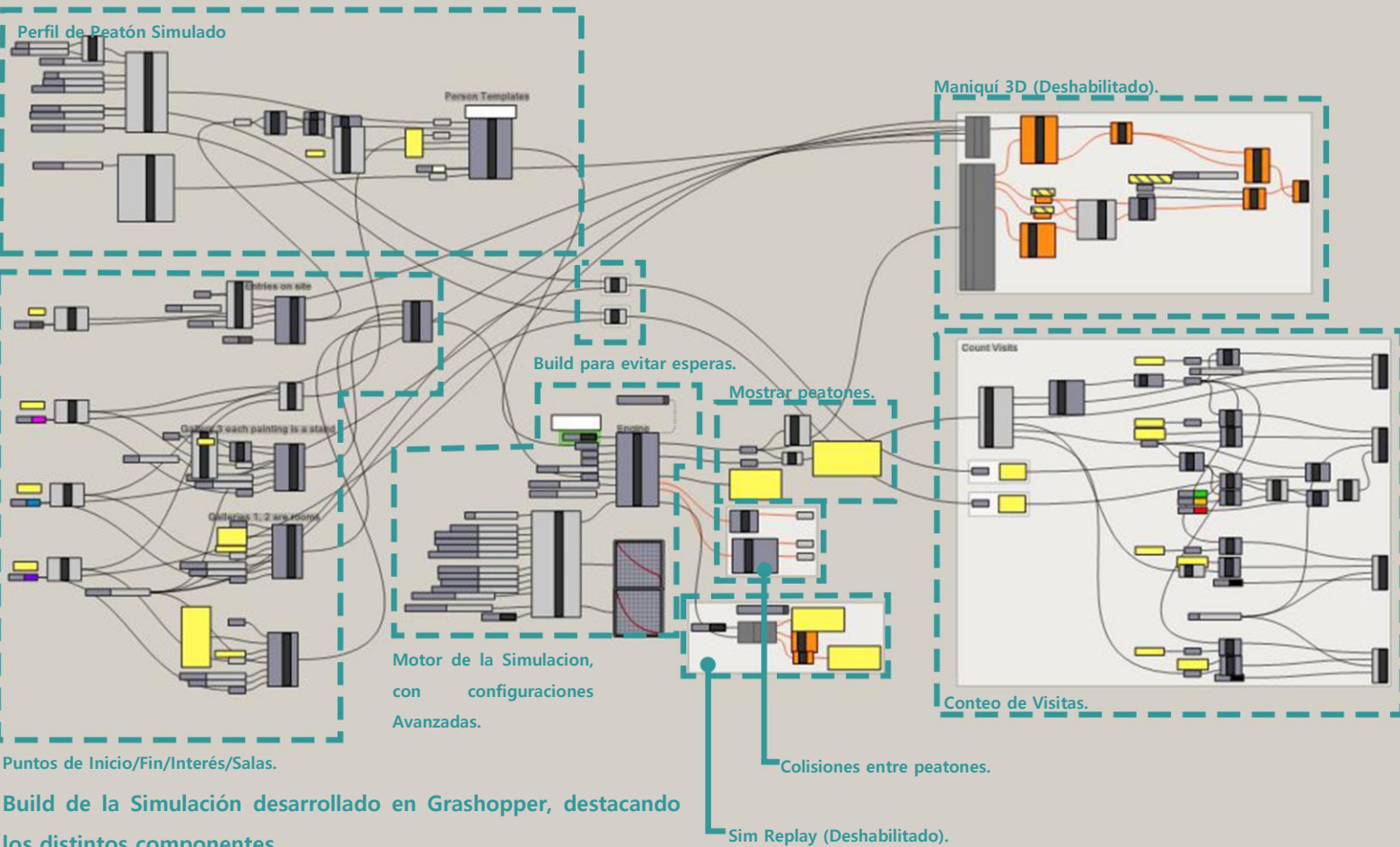
## T+ 240 s de Simulación

Finalmente es posible observar cómo se evidencian los puntos de alto tráfico, en rojo o negro, los de medio tráfico en amarillo y los de bajo tráfico en blanco y azul además de los espacios no utilizados del recinto, y los espacios predilectos por los peatones simulados.



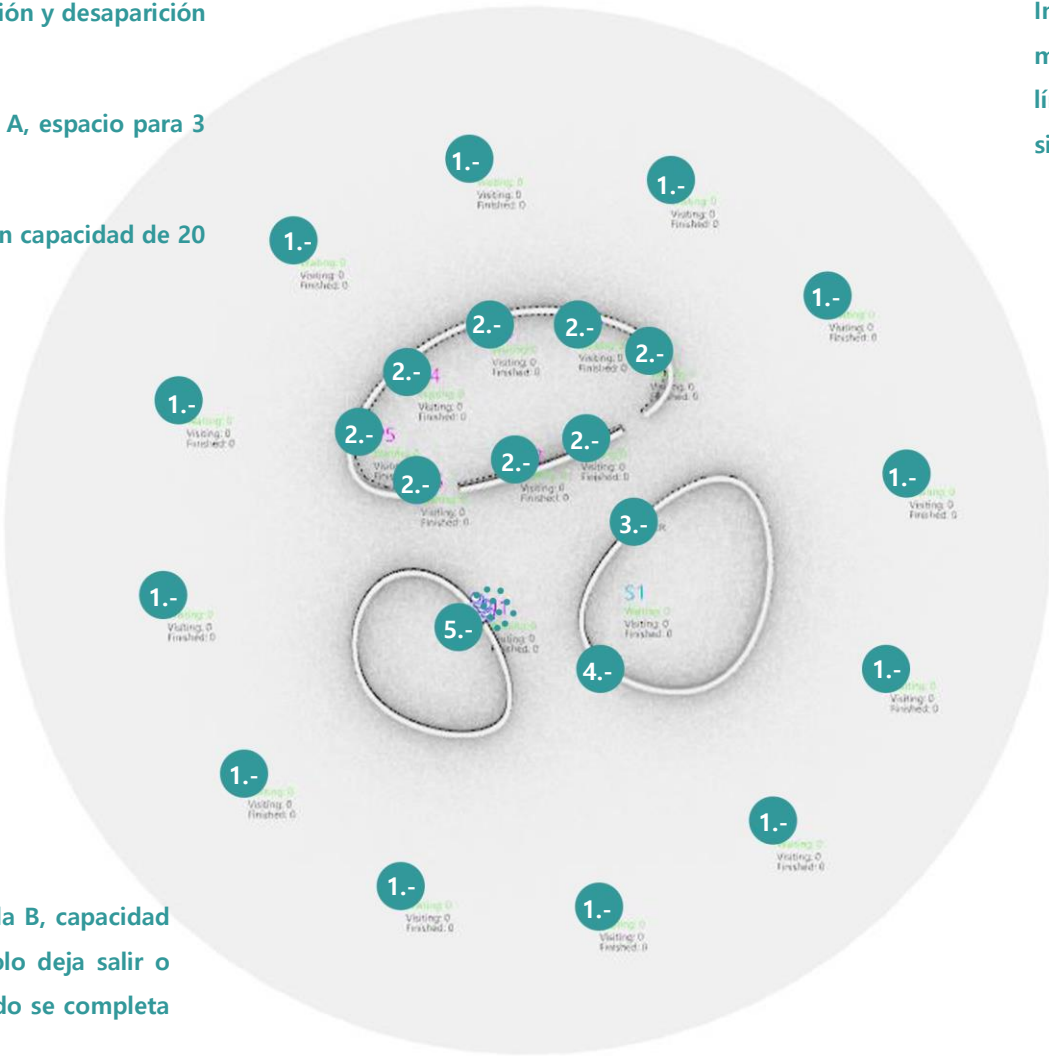
- El Segundo Ejemplo representa un espacio similar a una galería de arte, donde esta está dividida en 3 óvalos de diferentes tamaños, rodeados por 12 puntos de origen y destino, en este ejemplo el primer ovalo mantiene en su interior 8 puntos de interés, los cuales poseen espacio para tres personas, vale mencionar también que este ovalo posee dos accesos, que son de libre tránsito, pasando al, segundo ovalo, este está configurado como una sala que posee una entrada y una salida separada, de este modo en su interior esta sala posee una capacidad para grupos de 20 personas a la vez, donde una vez alcanzada la capacidad máxima de este recinto pasaran 20 segundos y los peatones en su interior saldrán y buscaran otro punto de interés o bien saldrán de la simulación, el tercer ovalo también está configurado como el anterior salvo que este posee una entrada y salida en el mismo lugar, junto con un espacio de espera, respecto del perfil de persona en este caso solamente hay uno que representa el 100% de la población, así cada peatón simulado podrá seleccionar el punto de interés que más le "acomode" ya que estos presentan igual interés en todos los puntos señalados, sin embargo si el punto seleccionado por el peatón simulado está ocupado este podrá "tomar la decisión" de buscar otro, que esté disponible o dirigirse a las salidas, una vez que los peatonales logran completar una vista a uno de los puntos de interés estos se dirigirán a las salidas o seleccionar otro punto de interés para visitar, en este caso el tiempo de aparición está fijado en 1 segundo y la población máxima de la simulación está fijada en 250 personas, en este caso la simulación tiene por objetivo demostrar la funcionalidad de los puntos de interés y sus variaciones junto con presentar la funcionalidad del conteo de vistas para obtener datos estadísticos de cada punto de interés, en entornos donde hay cierta aleatoriedad de las decisiones de los peatones, junto con mostrar las colisiones de estos en entornos saturados.

Figura 44: Interface de Grashopper con los componentes de simulación comprada con el modelo desarrollado en Rhino, Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo y Build de Grashoper basados en ejemplos demostrativos incluidos con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.



Puntos de Inicio/Fin/Interés/Salas.  
Build de la Simulación desarrollado en Grashopper, destacando los distintos componentes.

- 1.- Punto de Generación y desaparición de Peatones.
- 2.- Puntos de Interés A, espacio para 3 peatones cada uno.
- 3.- Entrada sala A, con capacidad de 20 personas.
- 4.- Salida Sala A.
- 5.- Entrada/Salida sala B, capacidad para 20 personas, solo deja salir o entra peatones cuando se completa el tiempo de visita.

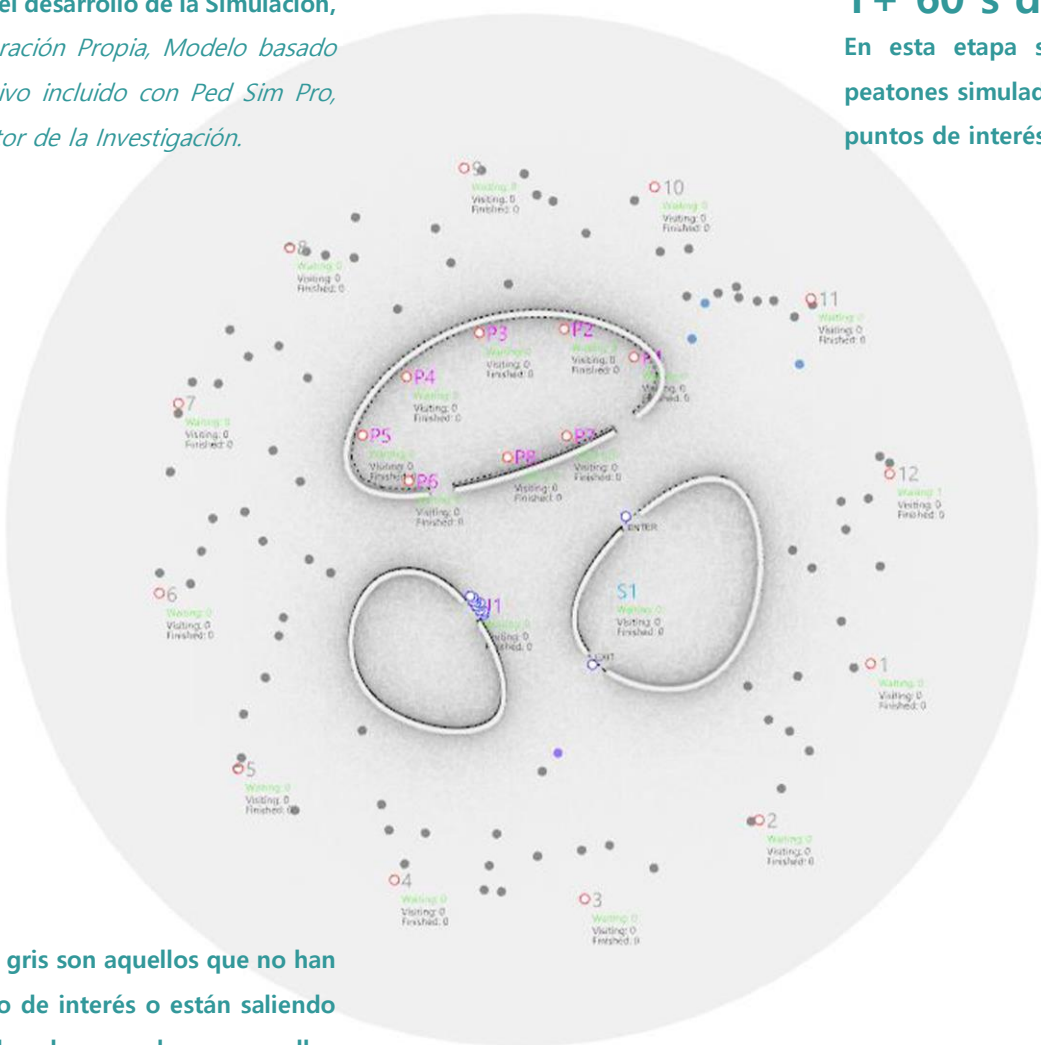


Interface de Rhino, mostrando en gris el límite del espacio de simulación.



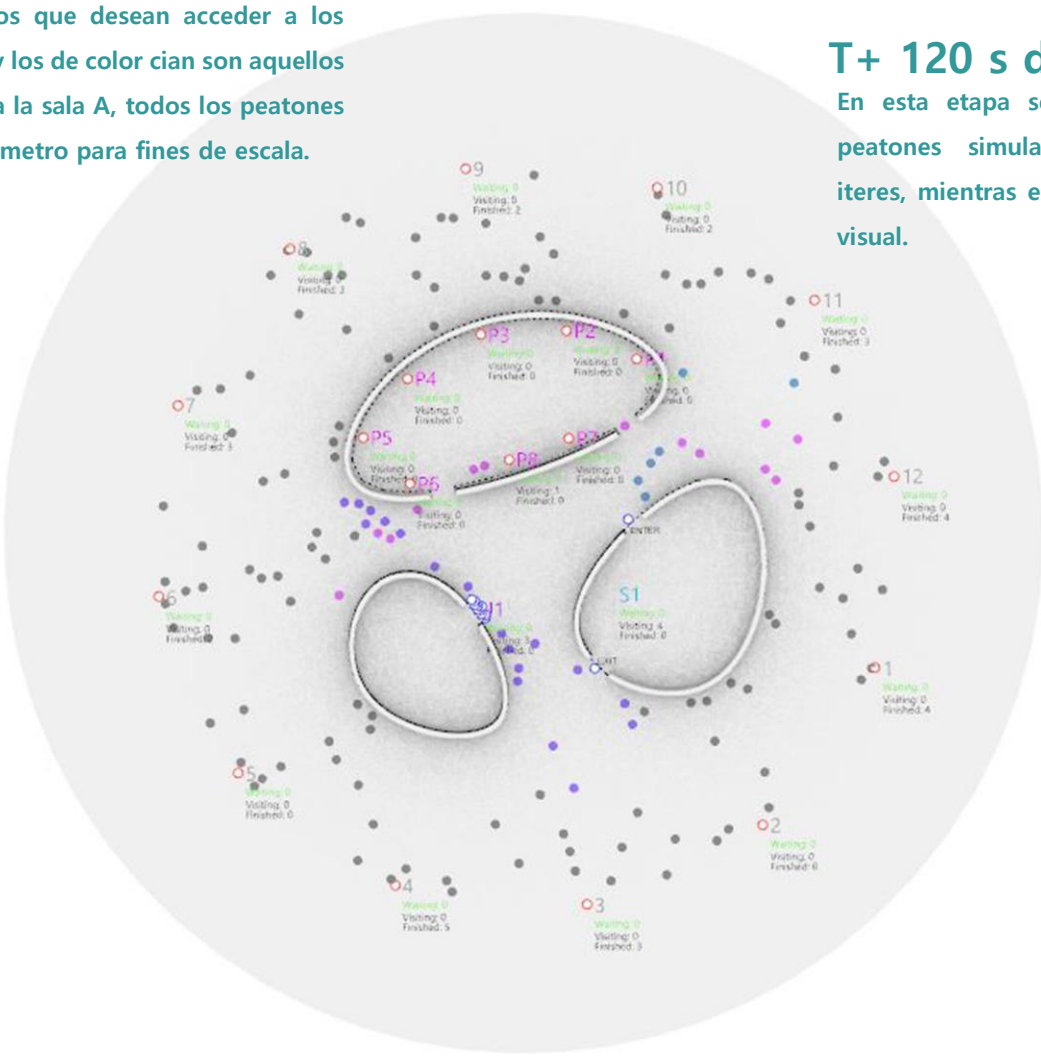
**Figura 45: Evolución del desarrollo de la Simulación,**  
 Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo basado en ejemplo demostrativo incluido con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.

**T+ 60 s de Simulación**  
 En esta etapa se muestra como los peatones simulados se dirigen hacia los puntos de interés en el interior.



Los peatones de color gris son aquellos que no han seleccionado un punto de interés o están saliendo de la simulación, los de color morado, son aquellos que desean acceder a la sala B, los de color Magenta son aquellos que desean acceder a los puntos de Interés A, y los de color cian son aquellos que desean acceder a la sala A, todos los peatones medien 65 cm de diámetro para fines de escala.

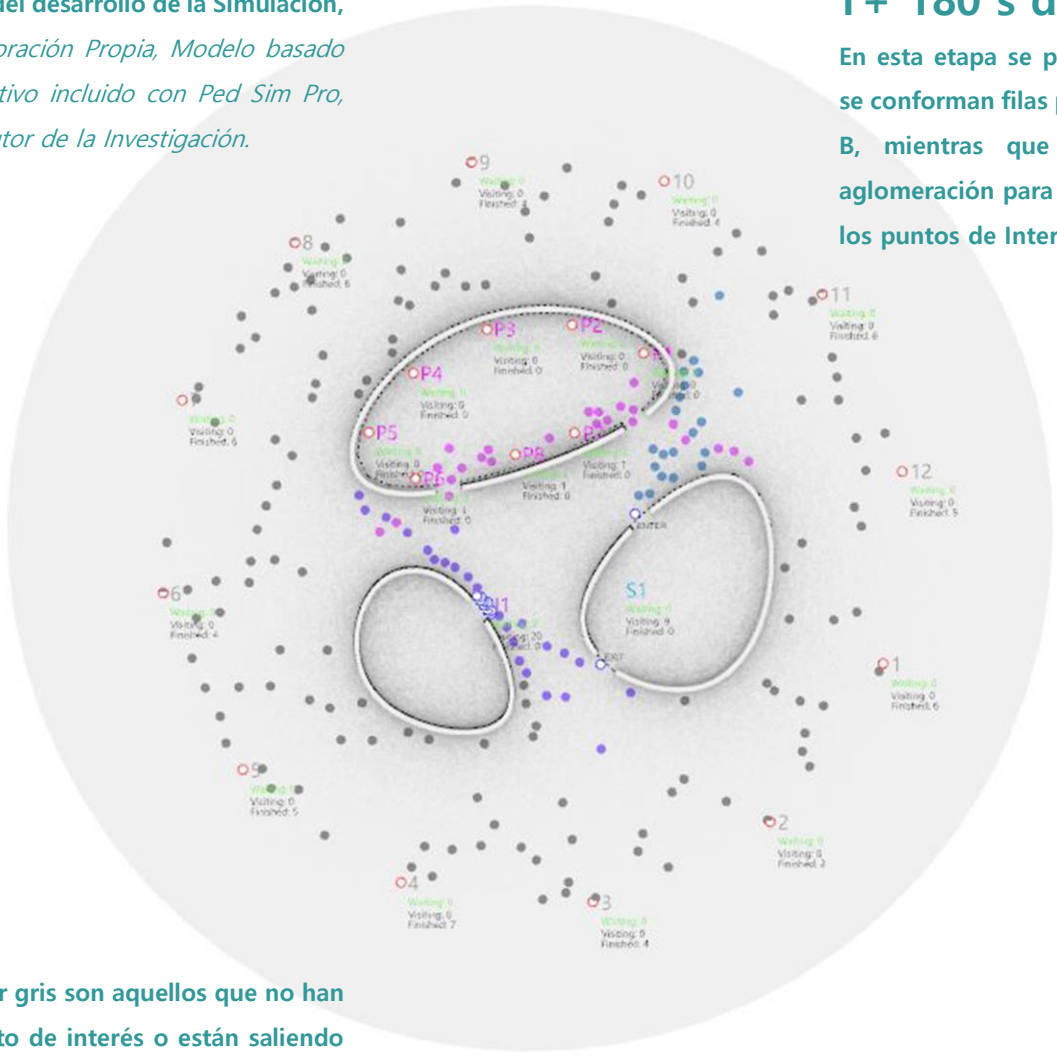
**T+ 120 s de Simulación**  
 En esta etapa se muestra como los peatones simulados seleccionan un iteres, mientras este esté en su campo visual.



**Figura 46: Evolución del desarrollo de la Simulación,**  
 Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo basado en ejemplo demostrativo incluido con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.

## T+ 180 s de Simulación

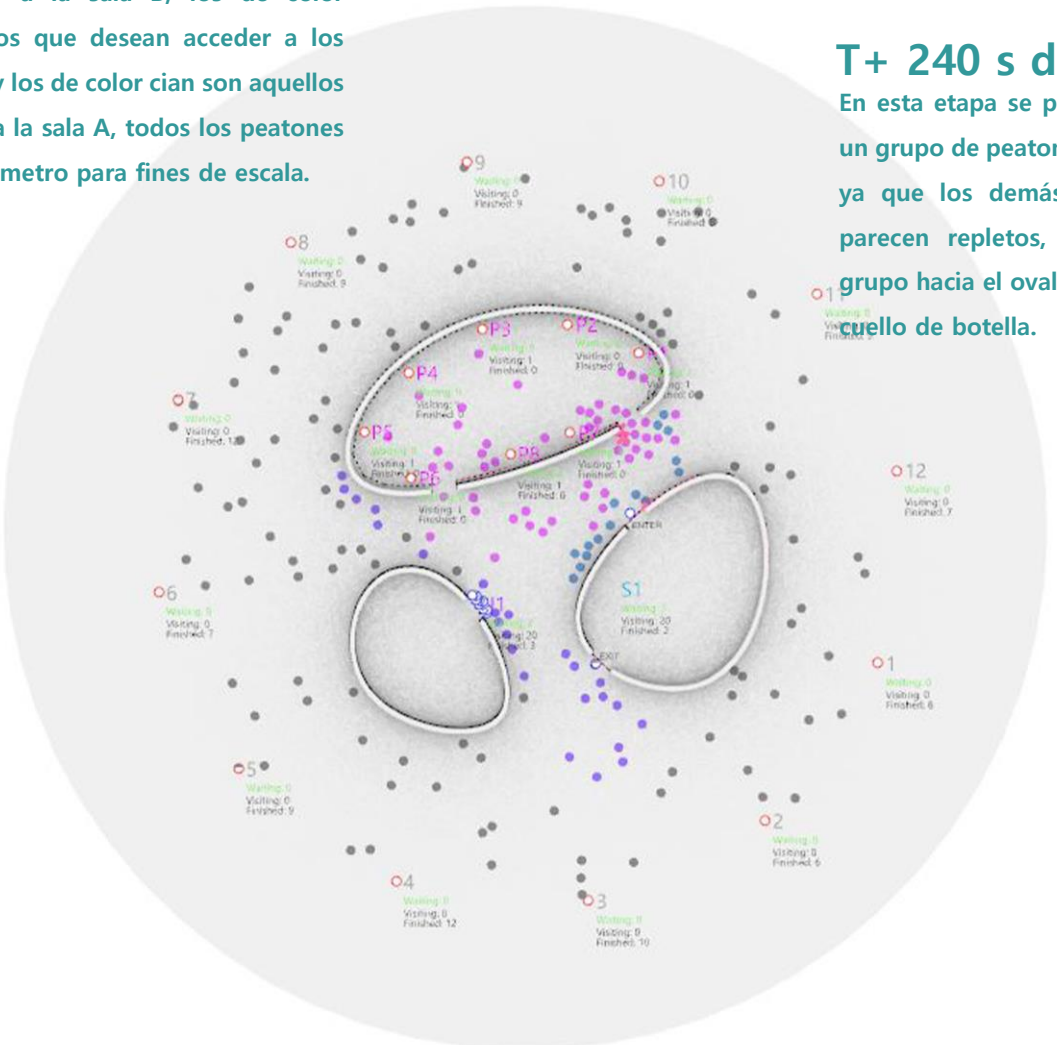
En esta etapa se puede observar cómo se conforman filas para acceder a la sala B, mientras que se desarrolla una aglomeración para acceder a la sala A y los puntos de Interés A.



Los peatones de color gris son aquellos que no han seleccionado un punto de interés o están saliendo de la simulación, los de color morado, son aquellos que desean acceder a la sala B, los de color Magenta son aquellos que desean acceder a los puntos de Interés A, y los de color cian son aquellos que desean acceder a la sala A, todos los peatones median 65 cm de diámetro para fines de escala.

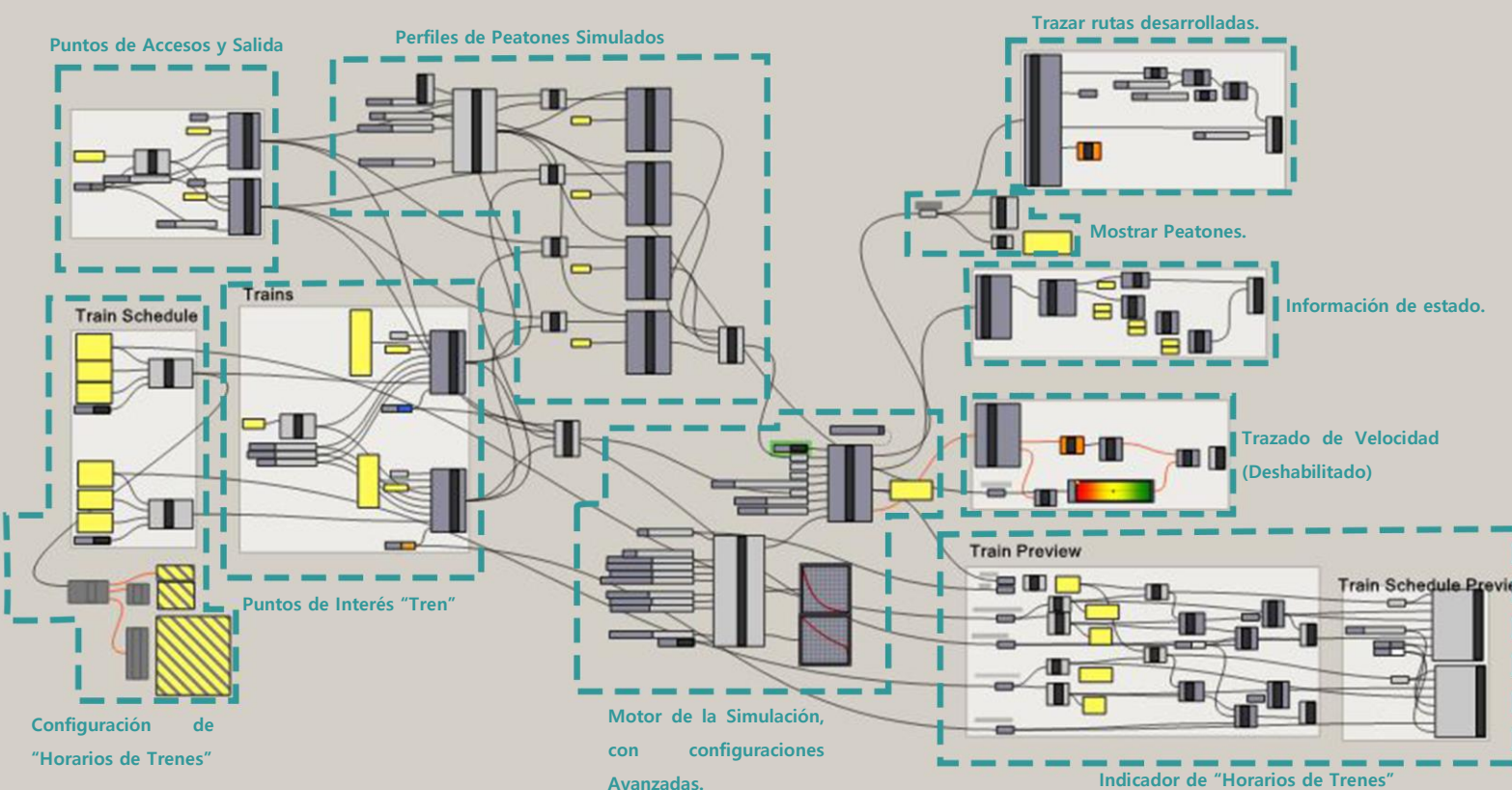
## T+ 240 s de Simulación

En esta etapa se puede observar cómo un grupo de peatones cambia de interés ya que los demás puntos de interés parecen repletos, desplazándose este grupo hacia el ovalo N°1, generando un cuello de botella.



- Finalmente, el tercer ejemplo se sitúa en una estación de ferrocarriles donde en cada extremo de este hay una serie de puntos de origen y destino, junto con esto en la parte central hay una serie de puntos de interés del tipo tren, los cuales inyectan y extraen personas a la simulación cada cierto periodo de tiempo, además la simulación está programada con una población de 300 peatones máximo, con un tiempo de generación de 6 segundos, también hay una serie de 4 perfiles de personas con la misma probabilidad de aparición, donde la mitad aparecerá desde los extremos y la otra mitad aparecerá desde los puntos tren, este ejemplo es relativamente más simple en construcción conceptual que los anteriores, sin embargo el fin de este en específico, es demostrar el funcionamiento del elemento tren junto con demostrar la capacidad del programa de mostrar las rutas de los peatones, su densidad y los puntos donde estas entran en conflicto con la geometría del espacio.

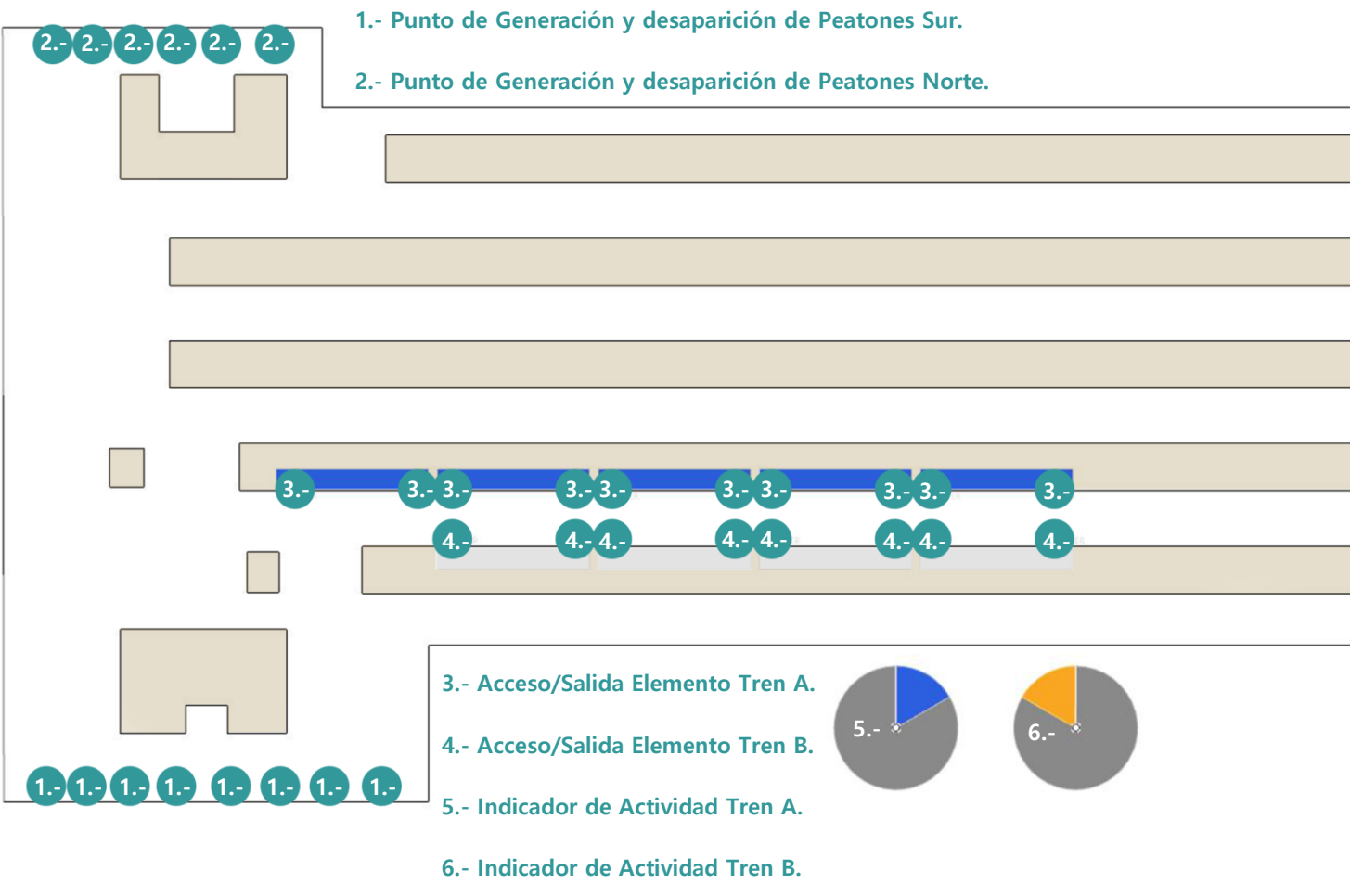
**Figura 47: Interface de Grasshopper con los componentes de simulación,** Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo y Build de Grasshopper basados en ejemplos demostrativos incluidos con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.



**Build de la Simulación desarrollado en Grasshopper, destacando los distintos componentes.**

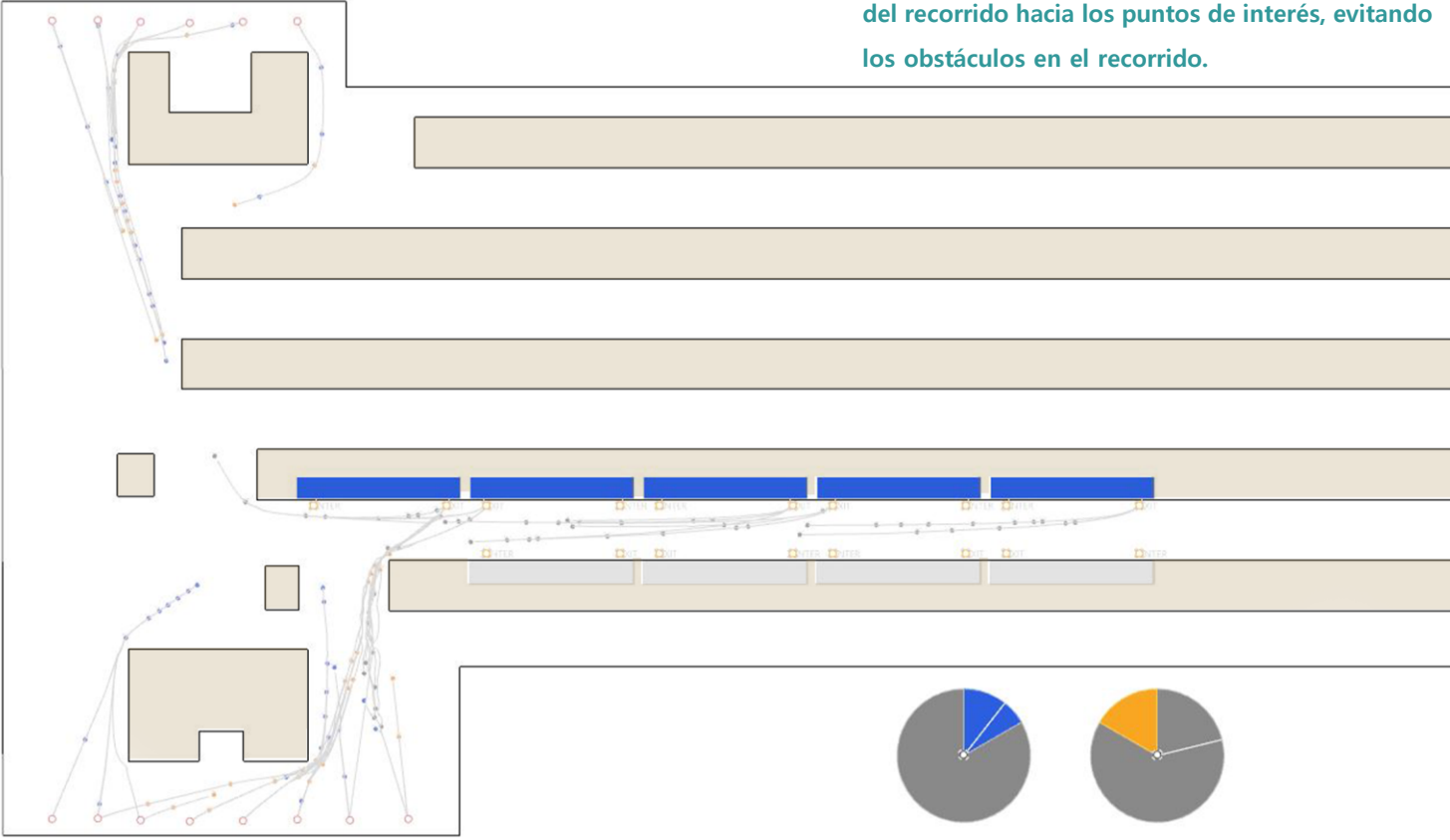


Figura 48: Evolución del desarrollo de la Simulación, e interfaz de Rhino mostrando los puntos de Interés y control, Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo basado en ejemplo demostrativo incluido con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.



### T+ 60 s de Simulación

Los peatones simulados se dirigen desde el inicio del recorrido hacia los puntos de interés, evitando los obstáculos en el recorrido.

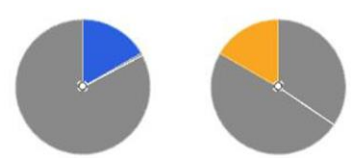
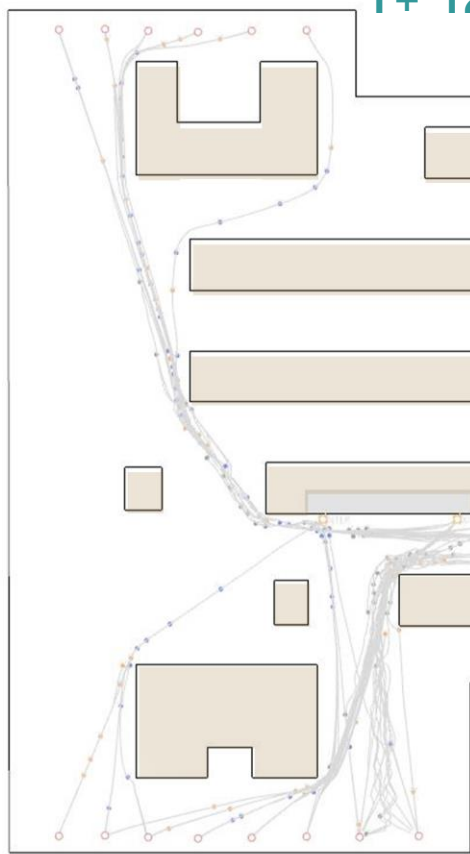


Los peatones marcados en Azul corresponden a aquellos interesados por tomar el Tren A, los marcados en naranja son aquellos interesados un tomar el Tren B, los rectángulos que representan los vagones, se tornan de color azul o naranja solo cuando el elemento Tren está tomando/dejando pasajeros, los espacios resaltados en beige son inaccesibles para los peatones, las líneas grises representan los trazados realizados por las personas en el espacio.

Figura 49: Evolución del desarrollo de la Simulación, Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, Modelo basado en ejemplo demostrativo incluido con Ped Sim Pro, Modificados por el Autor de la Investigación.

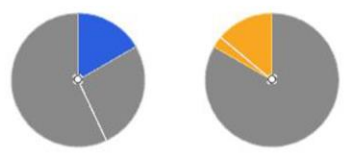
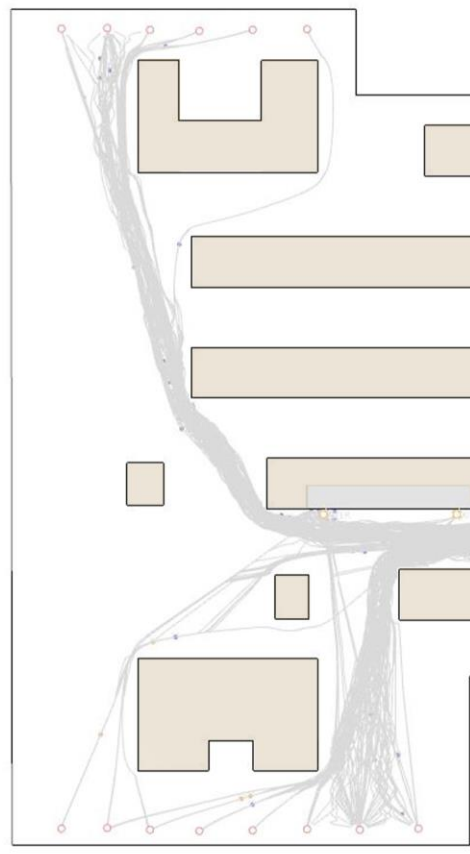
### T+ 120 s de Simulación

Los peatones simulados empiezan a trazar sus rutas en el espacio donde se empiezan a evidenciar puntos de alto tráfico.



### T+ 180 s de Simulación

Los peatones simulados trazan sus rutas en el espacio, mostrando puntos donde la geometría del entorno afecta la dinámica de los flujos peatonales causando puntos de alto tráfico.



Los peatones marcados en Azul corresponden a aquellos interesados por tomar el Tren A, los marcados en naranja son aquellos interesados un tomar el Tren B, los rectángulos que representan los vagones, se tornan de color azul o naranja solo cuando el elemento Tren está tomando/dejando pasajeros, los espacios resaltados en beige son inaccesibles para los peatones, las líneas grises representan los trazados realizados por las personas en el espacio.

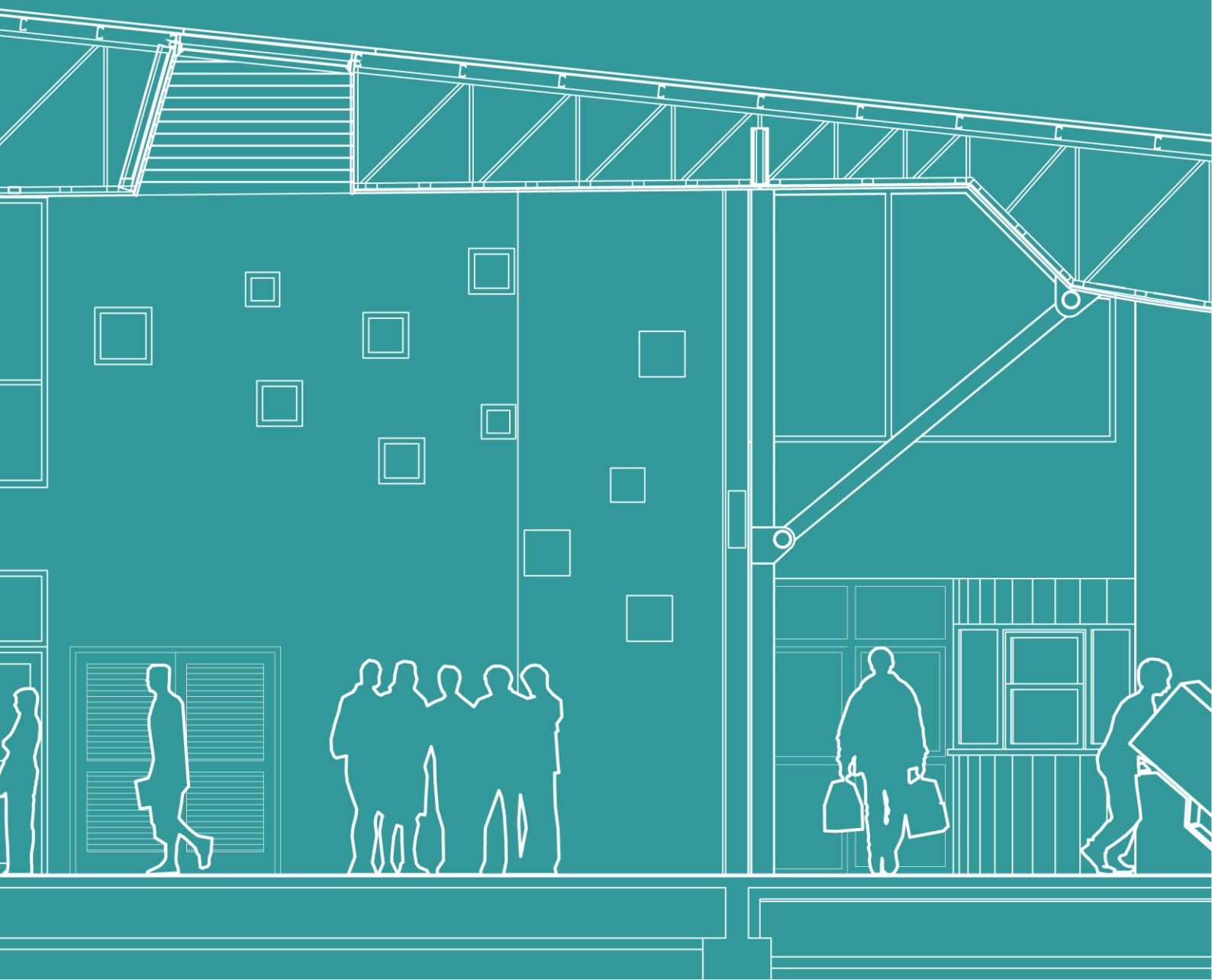
# 5.- Capítulo III, Presentación del Caso de Estudio.

5.1.- Justificación de la Elección del Caso de Estudio.

5.2.- Presentación del Proyecto y su Espacio.

5.3.- Presentación de los Datos Peatonales.

5.4.- Análisis de las Observaciones de Campo.





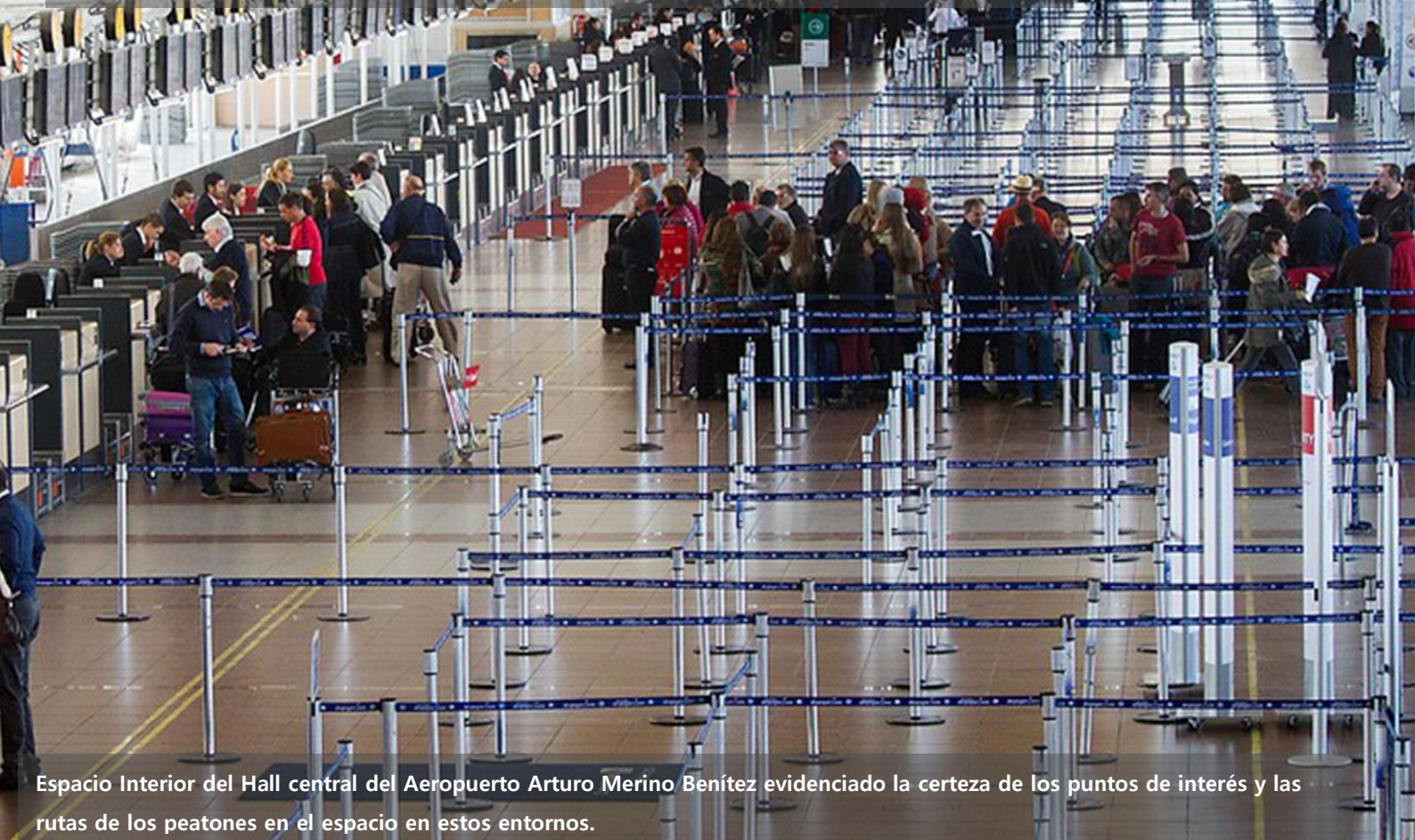
## 5.1.- Justificación de la Elección del Caso de Estudio.

Habiendo desarrollado los tópicos del fenómeno de los flujos peatonales y de la simulación peatonal con enfoque de arquitectura, resulta necesario presentar el caso de estudio seleccionado para el desarrollo del análisis experimental de esta investigación.

En principio hay que justificar la elección del caso de estudio, donde el primer parámetro determinante para la selección de éste, es que debe ser un proyecto de arquitectura destinado a la circulación y tránsito de personas, que se encuentre emplazado en Chile, de este modo el análisis de las variables presentes en el caso de estudio serán acorde al marco conocido por el investigador, lo que facilitará su análisis, así también es necesario establecer la tipología programática a la cual pertenecerá el proyecto, por lo tanto el segundo parámetro establecido para la selección del caso de estudio es que, el proyecto debe pertenecer a la tipología programática de terminal aeroportuaria, esto se fundamenta en que en el entorno interior de estas terminales en general, dadas sus variables espaciales y programáticas, favorecen la manifestación de la mayoría de los fenómenos del flujo peatonal los cuales ya han sido presentados en el capítulo primero de esta investigación, otro factor determinante para la elección de la tipología programática de aeropuertos es que por lo general son entornos confinados con puntos de interés y control muy bien definidos y datos estadísticos claros lo que permitiría la construcción de una simulación de escala mesoscópica sin problemas relativos a las variabilidades presentes en otras tipologías programáticas como centros comerciales, terminales de transporte terrestre y recintos escénicos, además de proyectos urbanos, consecuentemente otro factor que justifica esta elección, es que en estos entornos existe un permanente movimiento de las personas, lo que permite observar los flujos peatonales en su faceta principal y su relación con el espacio diseñado de una manera más efectiva, asimismo al ser los aeropuertos comúnmente entornos saturados, es más fácil observar las dinámicas peatonales tal como se presenta en el capítulo primero de esta investigación, finalmente también es necesario mencionar que el último factor dentro de justificación de la elección de los entornos aeroportuarios como tipología programática de la cual se seleccionara el caso de estudio, es que estos entornos dadas sus condiciones particulares y los programas presentes en estos, son laboratorios ideales



Figura 50: Imágenes comparativas de lo expuesto relativo al nivel de certeza en dinámicas de los flujos peatonales y de los movimientos de los peatones en los entornos aeroportuarios, Fuente: (Arriba) [www.biobiochile.cl](http://www.biobiochile.cl) - (Abajo) [www.dreamstime.com](http://www.dreamstime.com).



Espacio Interior del Hall central del Aeropuerto Arturo Merino Benítez evidenciado la certeza de los puntos de interés y las rutas de los peatones en el espacio en estos entornos.



Espacio Interior del Luxury Mall Bucarest, Rumania, donde se evidencia una dispersión de los puntos de interés y una incertidumbre de las rutas de los peatones en el espacio.



para la experimentación de nuevas tecnologías que pueden ser aplicables a la arquitectura en general con posterioridad, esto se fundamenta por lo expuesto en "Airport Design and Situational Passenger Flows and Practices: Exploring Design as a Method in Copenhagen Airport", donde se expone que los aeropuertos son laboratorios de experimentación y un tipo diferente de espacio público por derecho propio, (Pearman 2004) (Edwards, 2005) (Nikolaeva, 2012) (Elliott & Radford, 2015), (Hernandez Bueno, 2020, p. 2).

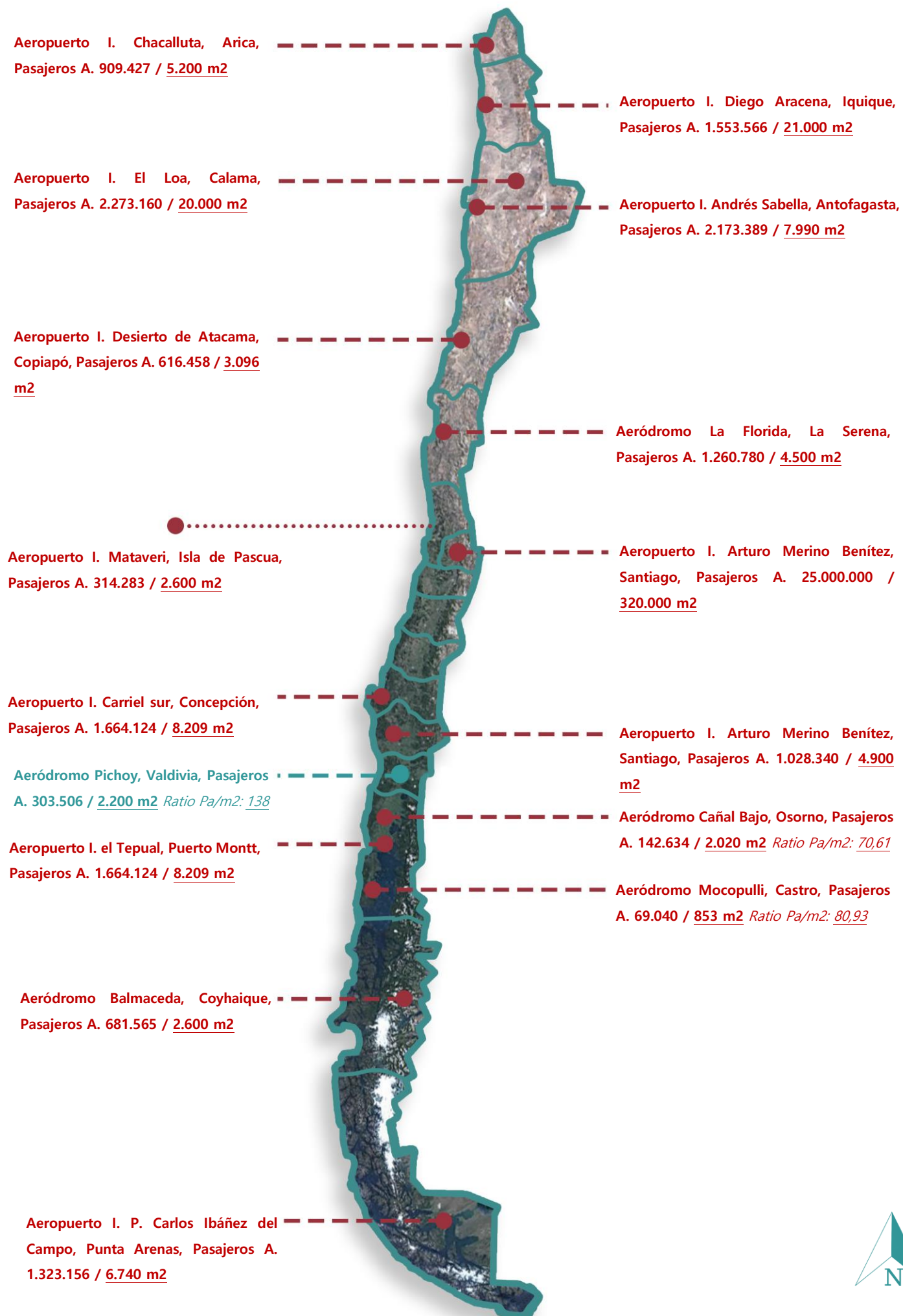
Ahora bien, para el desarrollo del análisis experimental se debe seleccionar un proyecto en particular, por lo tanto y tomando en consideración lo establecido anteriormente se presenta el listado de los 16 aeropuertos presentes en Chile que poseen terminales de pasajeros de carácter público, así se descarta automáticamente el "Proyecto Nuevo Pudahuel" por calificar como un proyecto de gran escala, así el primer parámetro para la selección del caso de estudio es que, éste posea una superficie total hasta 2.500.- metros cuadrados, ya que el entorno de estudio debe poseer una dimensión suficientemente acotada como para poder construir las simulaciones reduciendo al mínimo eventuales problemas de rendimiento de la solución de software de simulación relacionados al tamaño del proyecto y calificar como un proyecto de escala pequeña al mismo tiempo, posteriormente para seleccionar el caso de estudio en particular se buscara el proyecto que cumpla con el parámetro anterior, que concentre la mayor cantidad de pasajeros anualmente por metro cuadrado, ratio que define el nivel de saturación, en función del tamaño del proyecto, finalmente es necesario acotar que dado el carácter sensible de la tipología programática del caso de estudio la información, tanto planimétrica como estadística debe poder ser conocida por el investigador, lo que configura este último requisito como esencial para la selección del caso de estudio.

Consecuentemente, tomando en cuenta los factores expuestos anteriormente el proyecto seleccionado para el desarrollo de esta investigación es la Terminal de Pasajeros del Aeródromo Pichoy ubicado en Valdivia, Chile cumpliendo todos los requisitos mencionados para ser considerado un caso de estudio válido.



Figura 51: Listado de Aeropuertos con terminales de pasajeros en Chile, Fuente:

Elaboración Propia, Información obtenida de JAC 2019



En Rojo proyectos descartados como Casos de Estudio, en verde proyecto seleccionado.

## 5.2.- Presentación del Proyecto y su Espacio.

Una vez seleccionado el caso de estudio se debe presentar el proyecto y en su defecto el espacio a analizar, primeramente, el Aeródromo Pichoy ubicado en la Comuna de Mariquina, Chile, se emplaza a 23 kilómetros al Nor-este de la ciudad de Valdivia, así éste se configura como el principal terminal aeroportuario de la Región de Los Ríos, originalmente levantado en la década de 1960 como una respuesta de conectividad con el resto del país y dentro del marco de la reconstrucción posterior al terremoto de Valdivia de 1960, no fue hasta la década de 1990 que las bases de la terminal existente hoy en día se construyeron definitivamente, emplazando el aeródromo en general en un terreno de 221,5 Ha.

El proyecto de la terminal de pasajeros desde su inauguración definitiva en 1995 ha recibido una serie de 3 aplicaciones la primera en el año 2004, adicionado 2 puentes de embarque y reformulando aspectos menores del interior de la terminal, la segunda en el año 2012, donde se hicieron remodelaciones a los puentes de embarque, infraestructura aeroportuaria y al espacio interior de la terminal ampliando las zonas del hall principal, el espacio de acceso exterior, y la sala de embarque, permitiendo la llegada de 3 aeronaves simultaneas con capacidad de entre 130 a 160 personas cada una, y la última realizada en 2016 reformulando el interior del espacio de la terminal ampliando los espacio de espera y la sala de embarque reformulado también aspectos básicos del recorrido interior, ahora bien en la actualidad (previo a la pandemia de 2020 - 2021) la terminal de pasajeros del aeródromo Pichoy cuenta con una superficie de 2200 metros cuadrados destinados al tránsito y circulación de los pasajeros, donde el aeródromo posee 2 puertas de embarque simultaneo y 2 puertas de desembarque simultáneo, de este modo la capacidad actual de esta terminal está al borde de la saturación por no decir saturado, ya que las condiciones del flujo de pasajeros sobrepasan ampliamente los parámetros de diseño originales y las ampliaciones desarrolladas durante ciclo de vida han sido soluciones temporales buscando contener una demanda creciente, ejemplificada en los datos presentados del año 2019 donde se lograron 303.506 pasajeros durante ese año, según los datos aportados por la Junta Aeronáutica Civil (JAC),

Figura 52: Emplazamiento Territorial del Caso de Estudio,

Fuente: Elaboración Propia.

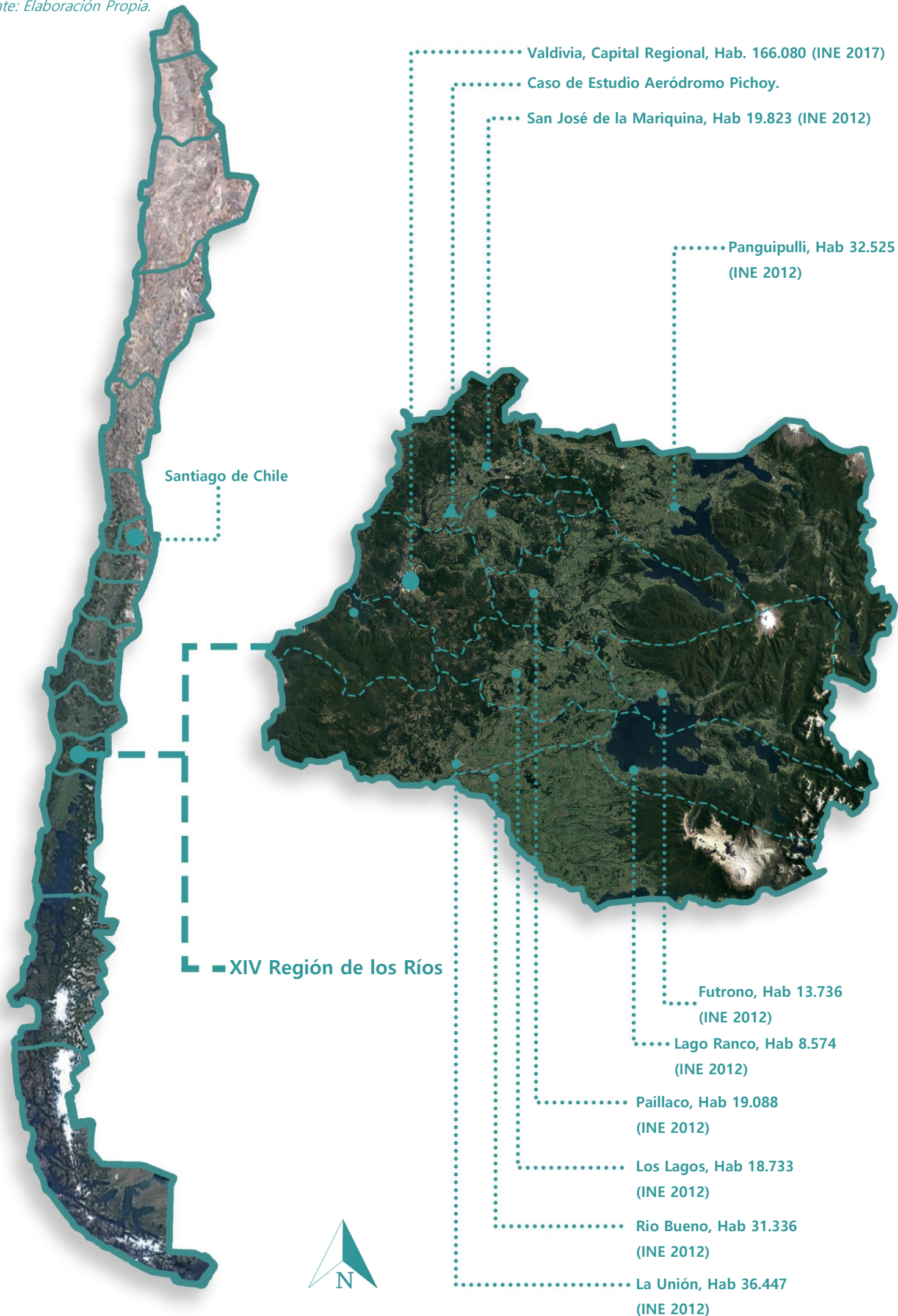




Figura 53: Imágenes comparativas del emplazamiento territorial del caso de estudio y un acercamiento a su emplazamiento directo,  
Fuente: (Arriba) Elaboración Propia - (Abajo) DAP Los Ríos.





Figura 54: Imágenes de la fachada de la terminal de pasajeros del Aeródromo Pichoy,  
Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Imagen de la Fachada principal tomada desde el Nor-orient.

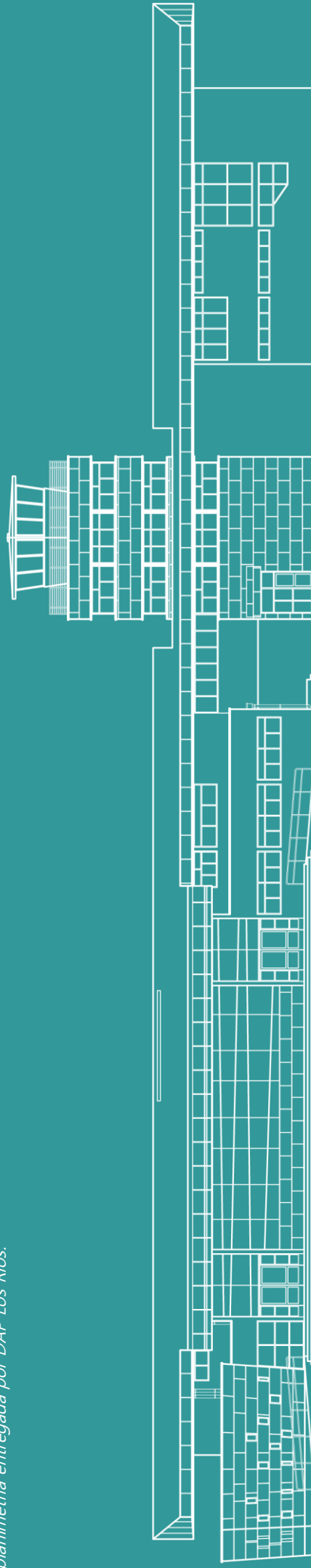


Imagen de la Fachada principal tomada desde el Sur-orient.

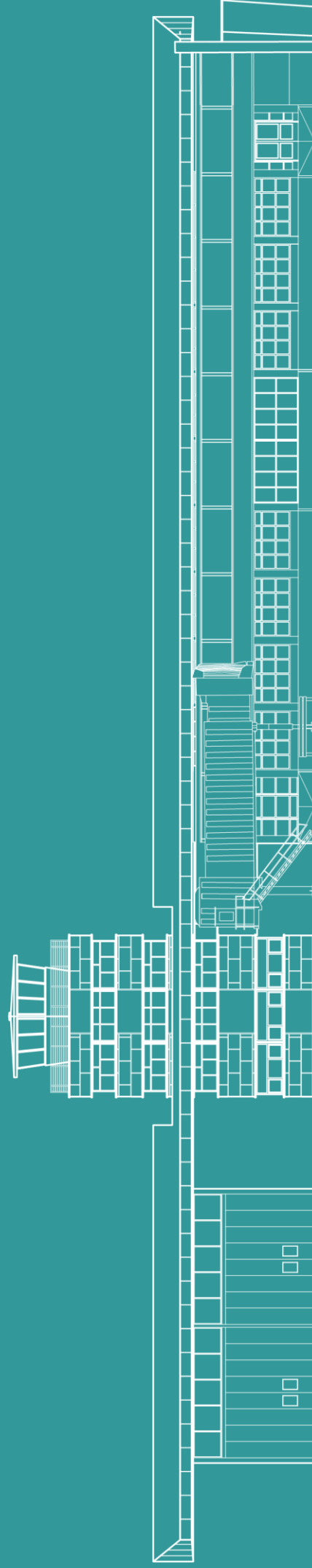
**Figura 55: Alzados del Proyecto en su estado actual,**

*Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos.*

8,5 m



**Alzado Oriente – Fachada Principal.**



**Alzado Poniente – Fachada Loza.**





**Figura 56: Alzado y sección Oriente-Poniente del Proyecto en su estado actual,**  
*Fuente: (Ambas) Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos.*

5,8 m

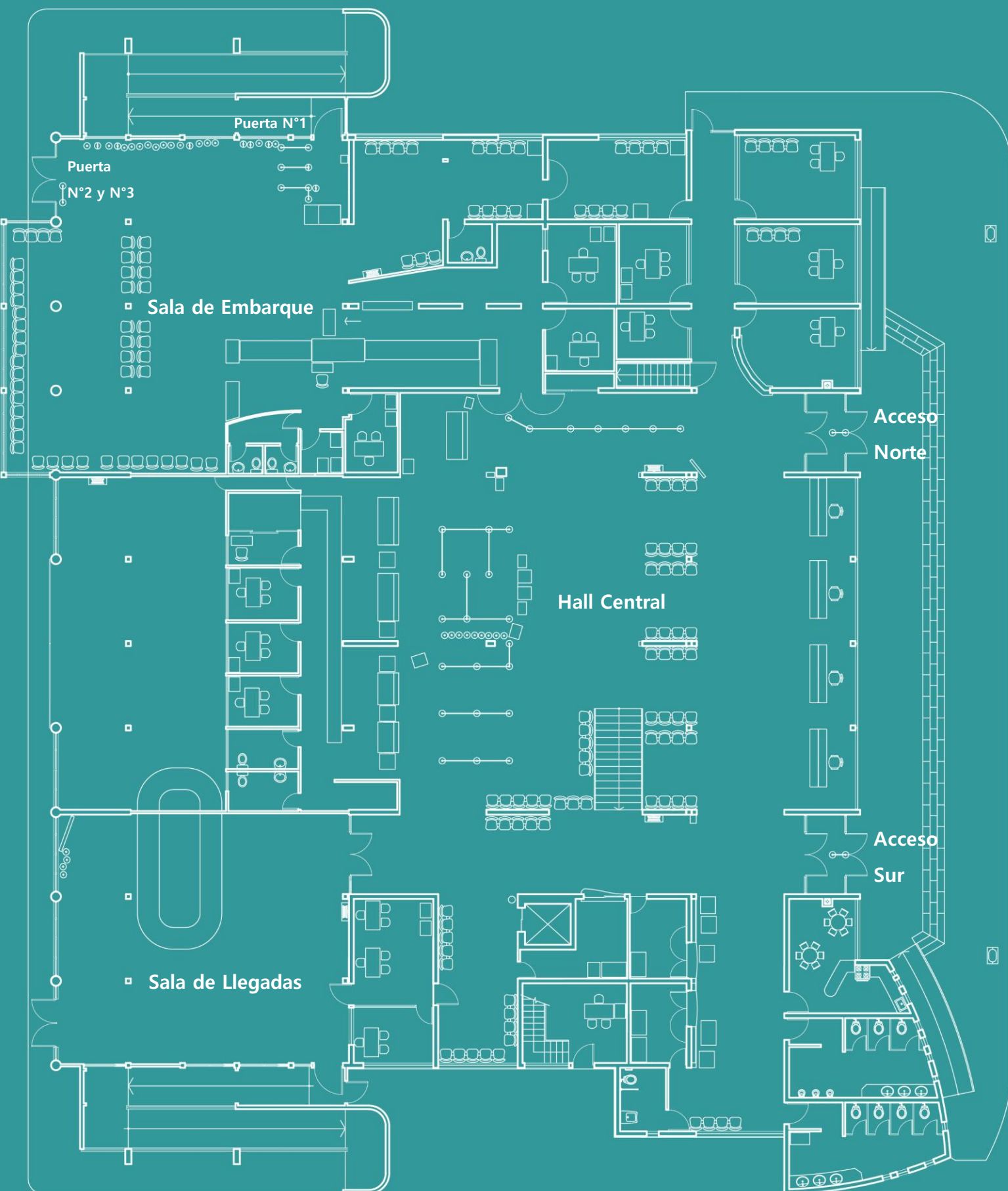


**Alzado Sur – Fachada Lateral de la Terminal.**



**Sección Oriente – Poniente – Hall Principal de la Terminal.**

Figura 57: Planta general de la Terminal de pasajeros en su estado actual,  
Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos.



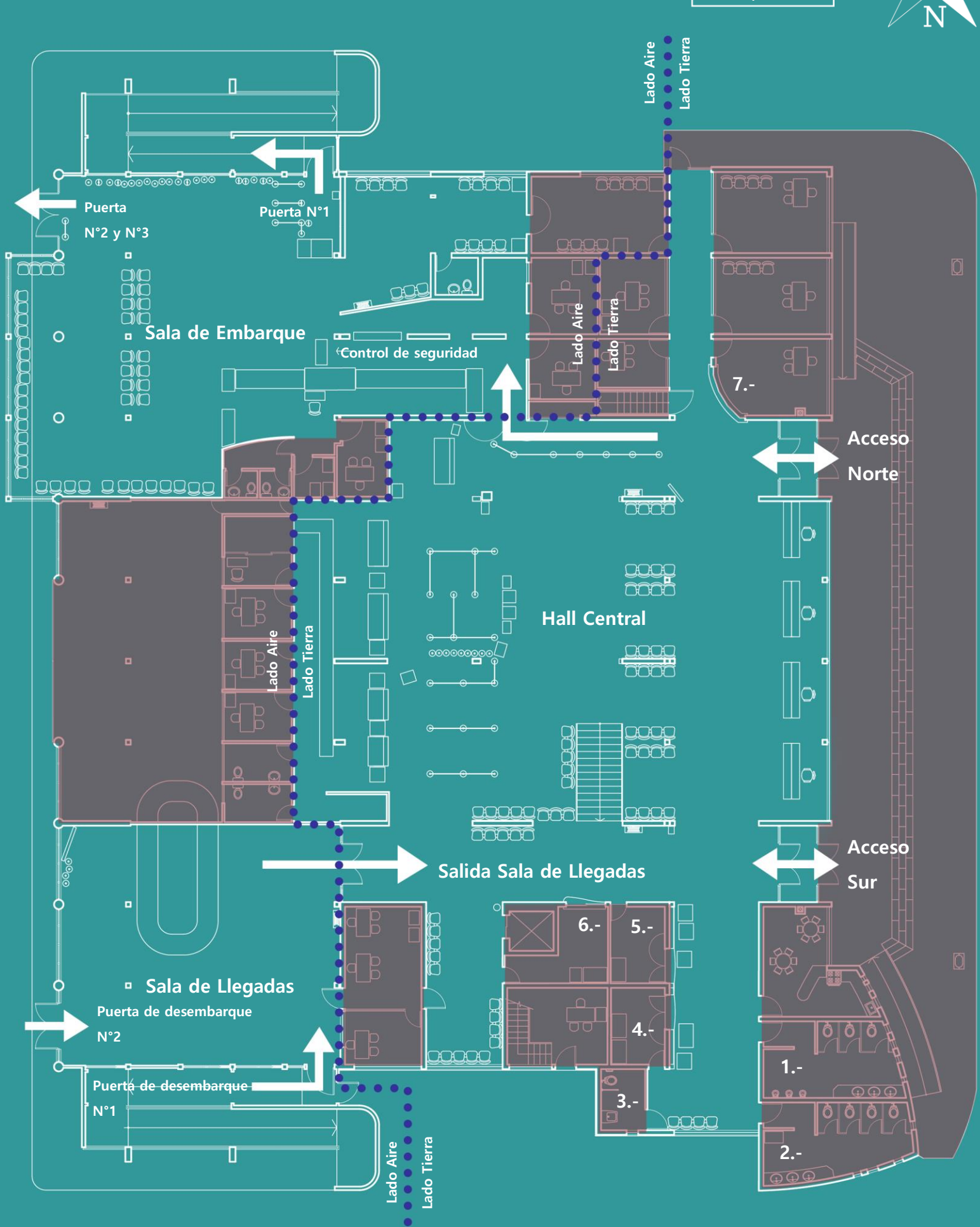
6,1 m

Logrando un aumento del 56% respecto del año 2018, y proyectando al año 2021 un tráfico de anual de 350.000 pasajeros (los demás datos estadísticos relativos a flujo peatonal de este proyecto se tratarán en mayor profundidad en el punto 5.3), así la situación actual de la terminal de pasajeros del aeródromo contempla la existencia de 3 espacios principales destinados a la circulación de pasajeros, el primero de estos sería el Hall principal, el que contempla un espacio en doble altura con áreas destinadas a los espacios destinados a la recepción de equipajes, áreas de espera, stands comerciales además de servicios sanitarios y los espacios administrativos de la terminal, es necesario mencionar que este espacio también posee dos entradas en cada extremo de este además de la escalera que conduce al segundo nivel de la terminal que solamente alberga uno de los 3 baños públicos de la terminal, junto con un recinto destinado a programa comercial, espacio que en la actualidad se encuentra desocupado, paralelamente este espacio conecta con la sala de embarque de la terminal y con la sala de llegadas y recepción de equipajes, vale decir que este espacio está emplazado en lo que en el diseño y planificación aeroportuaria se denomina "Lado Tierra", donde por lo tanto hay personas que no tiene por fin embarcar o desembarcar de los vuelos, lo que afecta la cantidad presente en estos espacios, el segundo espacio relevante para el desarrollo de esta investigación es la denominada sala de embarque, este espacio constituye el punto de espera de las personas antes de abordar a los vuelos salientes de la terminal, donde por lo tanto para acceder a este espacio las personas deben pasar por el punto de control que se emplaza entre el Hall central de la terminal y esta sala, a pesar de esto, los puntos de interés presentes al interior de este espacio giran en torno al punto de control de las pertenencias de los pasajeros y las puertas de embarque que para el caso particular de este entorno son solamente 3, también es relevante mencionar que este espacio está en el denominado "Lado Aire", lo que implica que las personas presentes en este espacio corresponden en su totalidad a quienes tiene por objetivo abordar un avión por cualquiera de los puntos de embarque.



Figura 58: Planta general de la terminal con desglose de espacios de estudio,

Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos.

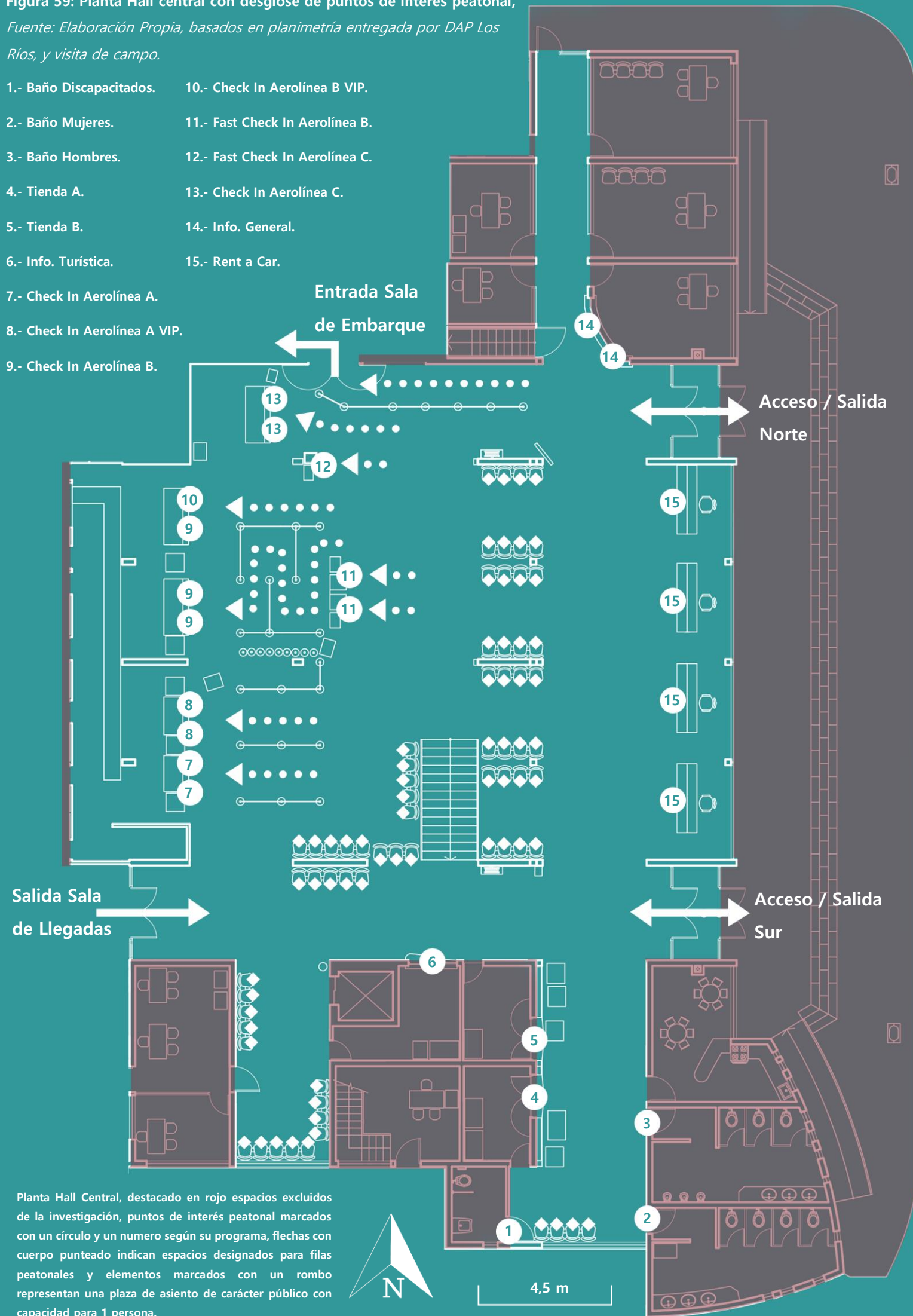


En Punteado Azul límite entre el denominado "lado Aire" y "lado Tierra", destacado en rojo zonas que quedan excluidas de la investigación dado su carácter semipúblico o privado, solamente los espacios indicados con números del 1 al 7 serán considerados parcialmente por su influencia, en flechas blancas direcciones de circulación en puntos críticos (salidas, entradas puertas de emb. y puntos de control de seguridad).

Figura 59: Planta Hall central con desglose de puntos de interés peatonal,

Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- 1.- Baño Discapitados.      10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 2.- Baño Mujeres.        11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 3.- Baño Hombres.        12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 4.- Tienda A.                13.- Check In Aerolínea C.
- 5.- Tienda B.                14.- Info. General.
- 6.- Info. Turística.        15.- Rent a Car.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.



Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, flechas con cuerpo punteado indican espacios designados para filas peatonales y elementos marcados con un rombo representan una plaza de asiento de carácter público con capacidad para 1 persona.

Figura 60: Fotografías del Hall central y su espacio central,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Vista del espacio central desde el segundo nivel.

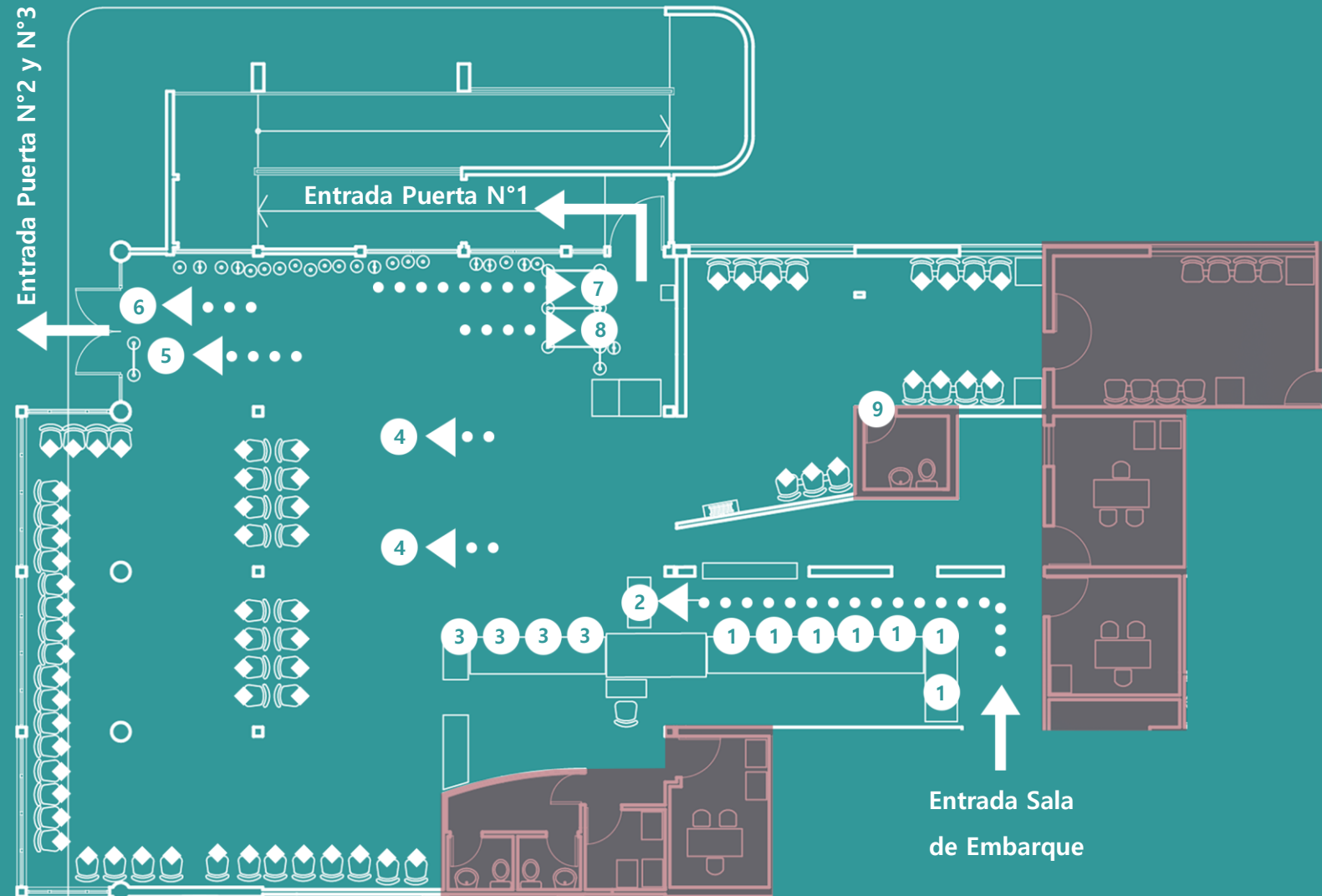


Vista del espacio central desde el primer nivel.



Figura 61: Planta sala de embarque con desglose de puntos de interés peatonal, Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- |  |   |
|--|---|
| 1.- Drop Off Rayos X punto de Seguridad.   | 6.- Fila de embarque prioritario Puertas N°2 y N°3. |
| 2.- Detector de Metales.                   | 7.- Fila de embarque Puertas N°1.                   |
| 3.- Drop In Rayos X punto de Seguridad.    | 8.- Fila de embarque prioritario Puertas N°1.       |
| 4.- Control de Identidad / Tarjeta de Emb. | 9.- Baño Discapacitados                             |
| 5.- Fila de embarque Puertas N°2 y N°3.    |   |



Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, flechas con cuerpo punteado indican espacios designados para filas peatonales y elementos marcados con un rombo representan una plaza de asiento de carácter público con capacidad para 1 persona.



Figura 62: Fotografías Interiores Sala de Embarque,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Vista interior de la sala de embarque hacia la puerta N°1, N°2 y N°3.



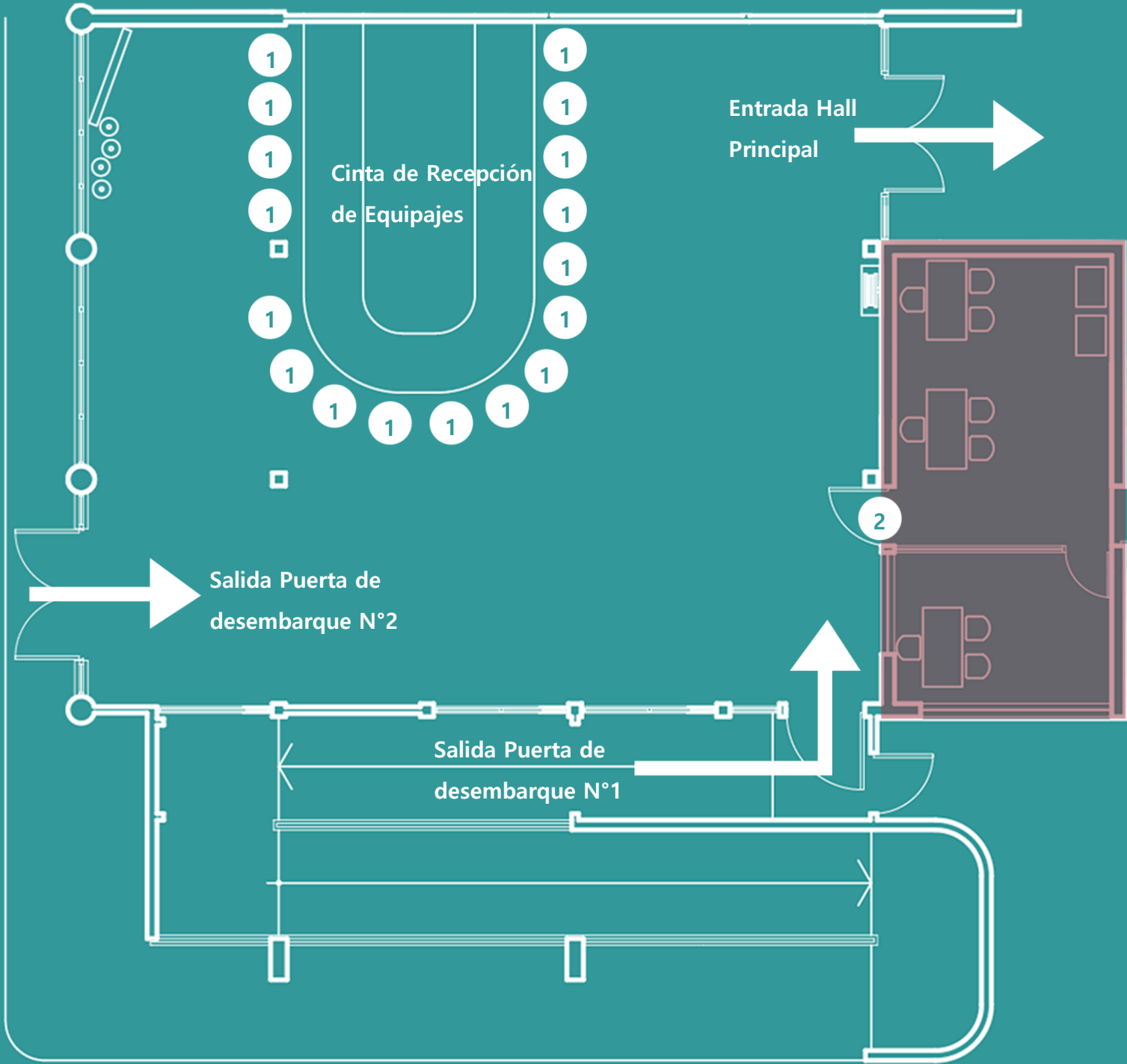
Vista interior de la sala de embarque hacia el espacio de espera y el control de seguridad.

Ahora bien, el tercer espacio relevante para el análisis de flujos peatonales es la sala de llegadas y recepción de equipajes, esta sala esta adyacente también al Hall central del edificio, con la única distinción que a este recinto no se puede acceder si no es desde las puertas de desembarque, las cuales son 2, una proveniente del puente de embarque ubicado en el segundo nivel y el segundo proviene del exterior del edificio desde los puntos de desembarque remotos ubicados en la loza de la terminal, así este espacio tiene únicamente un punto de interés el cual es la cinta de recepción de equipajes, la que se ubica adyacente a una de las paredes del recinto, también este recinto cuenta con una única salida, la cual conduce a uno de los extremos del Hall principal de la terminal, finalmente este espacio también está emplazado en el denominado "Lado Aire" donde las personas presentes solamente transitan para desembarcar de alguno de los aviones donde en algunos de los ocupantes de este espacio se detiene a recoger sus equipajes mientras que otros salen directamente al entorno del Hall, ahora bien para los fines de esta investigación todos los espacios exteriores de la terminal no se tomarán en cuenta ya que quedan fuera del campo de acción de la arquitectura particularmente aquellos pertenecientes a "Lado Aire", adicionalmente el segundo nivel de esta terminal tampoco se considerara ya que el espacio que se presenta allí no constituye un punto de atracción para las personas, donde la única influencia de este espacio es la esclera ubicada en el primer nivel, donde se considerara como un obstáculo, otros espacios del proyecto que no se consideraran para el desarrollo del análisis experimental son los puentes de embarque ubicados en el segundo nivel ya que la morfología y dimensiones de estos responden a parámetros estandarizados que no pueden ser modificados por el proyectista, finalmente los espacios destinados a la administración de la terminal tales como oficinas, bodegas y salas de personal se consideraran solamente como puntos de interés siempre y cuando sus accesos estén directamente conectados a los 3 espacio principales mencionados, ya que el tránsito de personas entre estos puntos a pesar de no muy extendido podría afectar de cierto modo las dinámicas de circulación de los ocupantes del espacio.



Figura 63: Planta sala de desembarque con desglose de puntos de interés peatonal, Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- 1.- Punto de espera para la cinta de recepción de equipaje.
- 2.- Acceso sala de espera Policía.



Planta Sala de Llegadas, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, flechas con cuerpo punteado indican espacios designados para filas peatonales y elementos marcados con un rombo representan una plaza de asiento de carácter público con capacidad para 1 persona.



Figura 64: Fotografías Interiores Sala de Llegadas,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Vista interior de la Sala de Llegadas desde la puerta de desembarque N°2 y N°3, hacia la cinta de recepción de equipaje y la salida.



Vista interior de la sala de Llegadas desde la puerta de desembarque N°1, hacia la cinta de recepción de equipaje.

## 5.3.- Presentación de los Datos Peatonales.

Una vez presentado el caso de estudio y particularmente su espacio, es necesario introducir los datos peatonales presentes en este, con el fin de generar la información requerida para construir tanto la simulación de control como las demás simulaciones del capítulo cuarto de esta investigación y complementar las observaciones de campo.

Así, es requerido empezar el desglose de los datos peatonales desde la perspectiva macro, con el fin de contextualizar la cantidad de usuarios anuales y su crecimiento en el último tiempo, teniendo en cuenta la cantidad de usuarios del proyecto en el periodo 2018 – 2019, ya que en este periodo de tiempo, el espacio del proyecto ha sido el mismo, también se presentaran los datos proyectados previos a la pandemia para los años 2020 - 2021, de este modo es preciso indicar que según la información proporcionada por la DAP (Dirección de Aeropuertos) Los Ríos, el aeródromo Pichoy presenta un tráfico al año 2018 de 133.543 usuarios anualmente, el año 2019 presento un aumento del 56%, alcanzando 303.506 pasajeros, con una proyección de crecimiento para el año 2020 de 12%, donde se alcanzarían alrededor de 339.926 usuarios anuales, proyectando a 2021 alcanzar los 350.000 pasajeros anuales, de este modo el crecimiento en el uso de esta terminal ha aumentado drásticamente en el último tiempo, donde la cantidad de personas por cada metro cuadrado anualmente es de 159,09 para 2021, lo que tiende a duplicar la carga de uso habitual si se compara con terminales de su misma escala o categoría.

Ahora bien, con esta contextualización presentada, es necesario ahondar en los datos peatonales que servirán para complementar las observaciones de campo, pero que serán críticos a la hora de construir las simulaciones, como se ha mencionado antes el aeródromo Pichoy en general tiene espacio para mantener 3 aeronaves de carácter comercial al mismo tiempo, ya que posee 3 puntos de estacionamiento en su loza, 3 puertas de embarque en su terminal, una a través del puente de embarque (Típicamente denominada Manga), y dos que son de carácter remoto, ósea se debe salir desde la sala de embarque y caminar por la loza del aeródromo para acceder a los aviones, mencionar esto es relevante ya que la cantidad de cantidad de aeronaves que el aeródromo puede mantener al mismo tiempo está



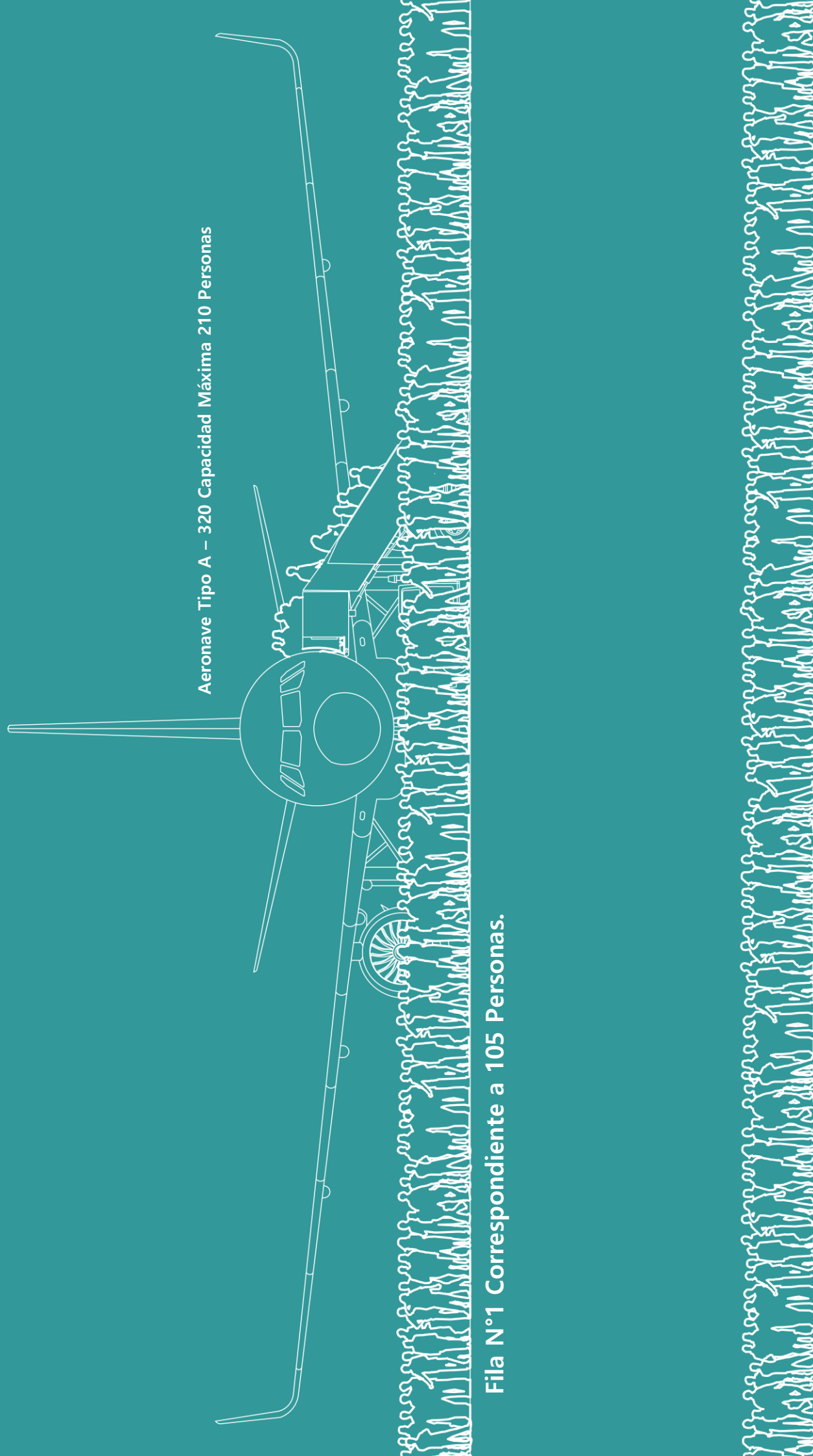
Figura 65: Imagen aérea del caso de estudio indicando la cantidad y posición máxima de aeronaves que pueden haber al mismo tiempo, Fuente:; Elaboración Propia, basado en imagen aérea proporcionada por DAP Los Ríos.



En segmentado, manga removida el 2018, el modelo de aeronave representado es un A – 320 - 200.

Figura 66: Esquema representativo de la cantidad de personas que utiliza una aeronave del tipo que arriba a el caso de estudio, mostrando 210 personas en 2 filas, Fuente: *Elaboración Propia*,

3,4 m



Fila N°1 Correspondiente a 105 Personas.

Fila N°2 Correspondiente a 105 Personas.

directamente relacionada con la cantidad máxima de personas que puede llegar a haber en el recinto, de este modo cada aeronave tiene capacidad en promedio de entre 180 a 220 pasajeros, donde la tasa de ocupación es de alrededor del 88% al 96% tanto para los velos salientes como para los entrantes, indicando esto que previo al proceso de desembarque de un vuelo entrante la cantidad de personas que están en la terminal al mismo tiempo es de alrededor de 194, considerando que la aeronave tiene una capacidad de 210 personas y una ocupación del 92%, sin embargo es necesario mencionar que en este tipo de entornos existen otros perfiles de personas que transitan por el espacio, donde esto aumentaría el conteo de personas considerablemente y más importante, alteraría la dinámica interior de flujos peatonales ya que estos grupos poseen sus propias secuencias de estancias y recorridos además de poseer puntos de interés y control diferidos, estos grupos se dividirían en "Abordantes", o todos aquellos que acceden a la terminal para tomar un vuelo saliente, estos están en función de la cantidad de vuelos salientes que hay, donde normalmente sus números varían entre los 191 y los 198 por cada vuelo saliente, y su llegada se genera entre 120 y 30 minutos antes de la hora de salida del vuelo, donde por lo tanto acceden a la terminal por las entradas principales del hall central a un ritmo de 2,12 personas/min y 2,20 personas/min, los "Desembarcantes", o todos aquellos que están desembarcando de un vuelo entrante, este grupo mantiene una población en función de cuantos vuelos entrantes halla en la terminal al mismo tiempo, por lo tanto sus números varía entre 193 y 200, ya que la ocupación media de los vuelos entrantes es más alta que de los vuelos salientes, además el proceso de desembarque toma alrededor de 35 minutos desde la llegada del vuelo, donde el ritmo de entrada por ambas puertas de desembarco a la sala de llegadas esta entre 5,51 personas/min y 5,73 personas/min, por cada vuelo desembarcando en paralelo, y "No Abordantes", todos aquellos que transitan por la terminal pero que no tienen por fin abordar un vuelo saliente o no están desembarcando de un vuelo entrante, este último grupo representa una minoría relativa dentro de los ocupantes del espacio pero se pueden dividir en tres grupos, primero todos quienes trabajan en la terminal estando afiliados a esta y que por lo tanto tiene acceso al "Lado Tierra" y "Lado Aire" libremente, este grupo posee un número fijo de personas que es varía entre 19 y 26 dependiendo del nivel de uso de la terminal, manteniendo este grupo generalmente posiciones fijas en los espacios a analizar, el segundo grupo serian todos quienes trabajan para un tercero



Figura 67: Desglose de los distintos tipos de Peatones presentes en el Caso de Estudio,

Fuente: Elaboración Propia, basados en información entregada por DAP Los Ríos.

### Población Total del Caso de Estudio



**"Abordantes"**

**Entre 191 – 198 Personas,  
por Vuelo.**



**"Desembarcantes"**

**Entre 193 – 200 Personas,  
por Vuelo.**



**"No Abordantes"**

**Entre 117 – 131 Personas\*.**

Figura 68: Desglose de los distintos tipos de Peatones presentes en el Caso de Estudio,

Fuente: Elaboración Propia, basados en información entregada por DAP Los Ríos.

## Población Total de "No Abordantes"

Entre 117 – 131 Personas\*.



Trabajadores directos de la Terminal

Entre 19 – 26 Personas.



Trabajadores Indirectos de la Terminal

Entre 12 – 16 Personas.



"Acompañantes"

Entre 86 – 89 Personas por Vuelo\*.

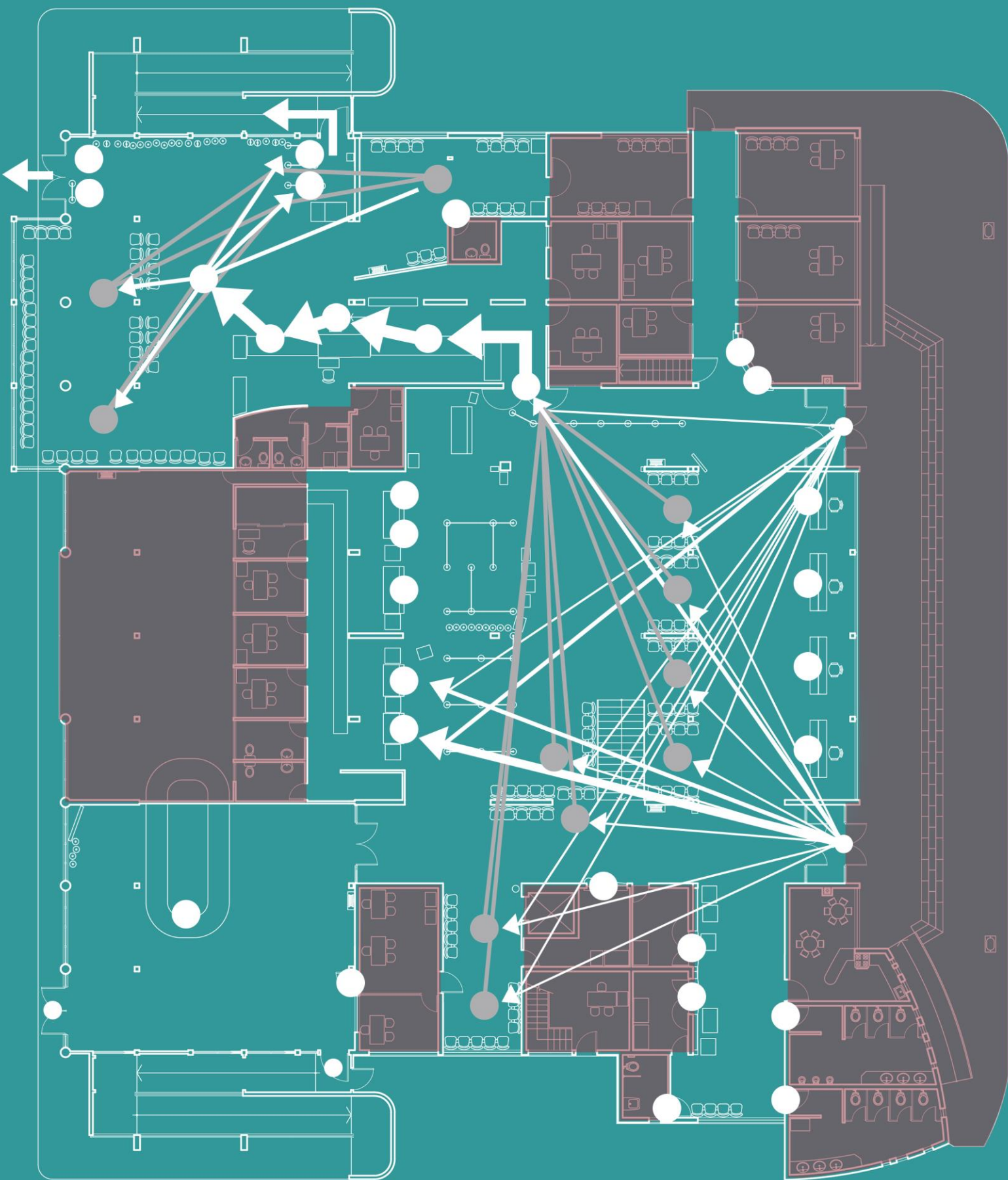
dentro del espacio de la terminal, este grupo también es un número fijo de personas que representa alrededor de entre 12 y 16 dependiendo del nivel de uso, estos usuarios típicamente están en posiciones fijas en el hall central pero también suelen desplazarse a los servicios que esta posee con cierto grado de regularidad, finalmente el tercer sub grupo son los denominados "Acompañantes", ósea todos aquellos que acompañan a una personas que pertenece al grupo de los "Abordantes", pero que no tiene por interés tomar un vuelo saliente y que por lo tanto solo posee acceso a los puntos de interés presentes en el Hall Central de la Terminal, este sub grupo a diferencia de los dos anteriores tiene sus números en función de la cantidad de "Abordantes" que hay, donde la proporción es de alrededor de 2 es a 0,9 "Acompañantes", donde el ritmo de aparición es el mismo que poseen los "Abordantes" y su umbral de aparición es alrededor de 120 a 30 min antes del vuelo.

Ahora bien, es necesario presentar los distintas intereses y la probabilidad que estos estén presentes en alguno de los grupos mencionados anteriormente (estos intereses hacen referencia a los puntos de interés mencionados en 5.2), sin embargo se debe tomar la consideración que los grupos de personas que trabajan tanto para la terminal como para un tercero, no presentan intereses y se tomaran como personas estáticas en el espacio para la construcción de la simulación, de este modo para el grupo de los "Abordantes" del total de estos, el 64% tiene como primera prioridad al acceder a la terminal, el acercarse a cualquiera de los puntos de check-in de la aerolínea A/B/C, mientras el 32% de este 64% buscara acceder al check-in prioritario de la aerolínea A/B/C, después el 91% de este 64% buscara acceder a alguno de los puntos para espera distribuidos por el espacio de la terminal, mientras el 9% restante buscara acceder a la sala de embarque, es importante mencionar que el 46% restante del grupo de los "Abordantes" buscaran acceder a los espacios de espera distribuidos en la terminal, donde alrededor de 50 min antes de la salida del vuelo los "Abordantes" en general empezara a generar un patrón de espera con el fin de acceder a la sala de embarque, donde el grupo se dividirá en un 34% que buscara acceder a la fila de embarque prioritario de la puerta N°1 mientras que el resto buscara acceder a la fila de embarque regular de la pueta N°1, adicionalmente existe la posibilidad que si la congestión en cualquiera de las filas del recorrido es amplia, los peatones busquen esperar en los espacios distribuidos tanto en el hall central como en la sala de embarque hasta que se reduzca la congestión de las filas,



Figura 69: Planta general de la Terminal de pasajeros mostrando la lógica peatonal de los "Abordantes" para un vuelo saliente de la puerta N°1,

Fuente: Elaboración Propia, basados en información entregada por DAP Los Ríos.

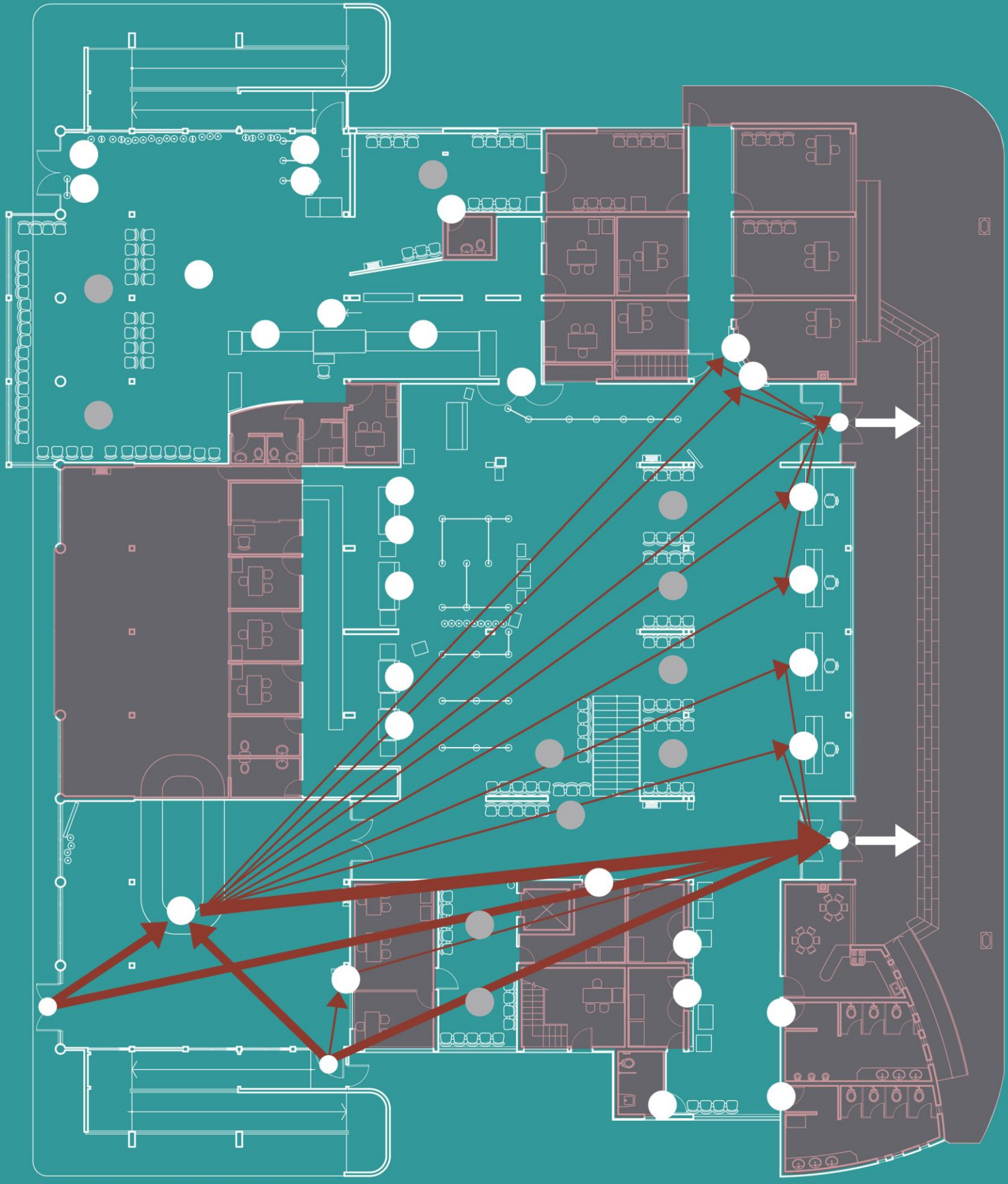


Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo blanco, puntos de espera marcados con un punto de color gris, las flechas blancas representan movimientos desde las entradas de los espacios a las salidas, mientras que las grises represan movimientos desde los puntos de espera hacia las salidas, el grosor del cuerpo de la flecha indica la probabilidad de la ruta seleccionada.

6,1 m



Figura 70: Planta general de la Terminal de pasajeros mostrando la lógica peatonal de los "Desembarcantes" para un vuelo entrante de la puerta N°1,  
Fuente: Elaboración Propia, basados en información entregada por DAP Los Ríos.



Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo Blanco, puntos de espera marcados con un punto de color gris, las flechas Café representan movimos desde las entradas de los espacios a las salidas o puntos de interés, el grosor del cuerpo de la flecha indica la probabilidad de la ruta seleccionada.

6,1 m



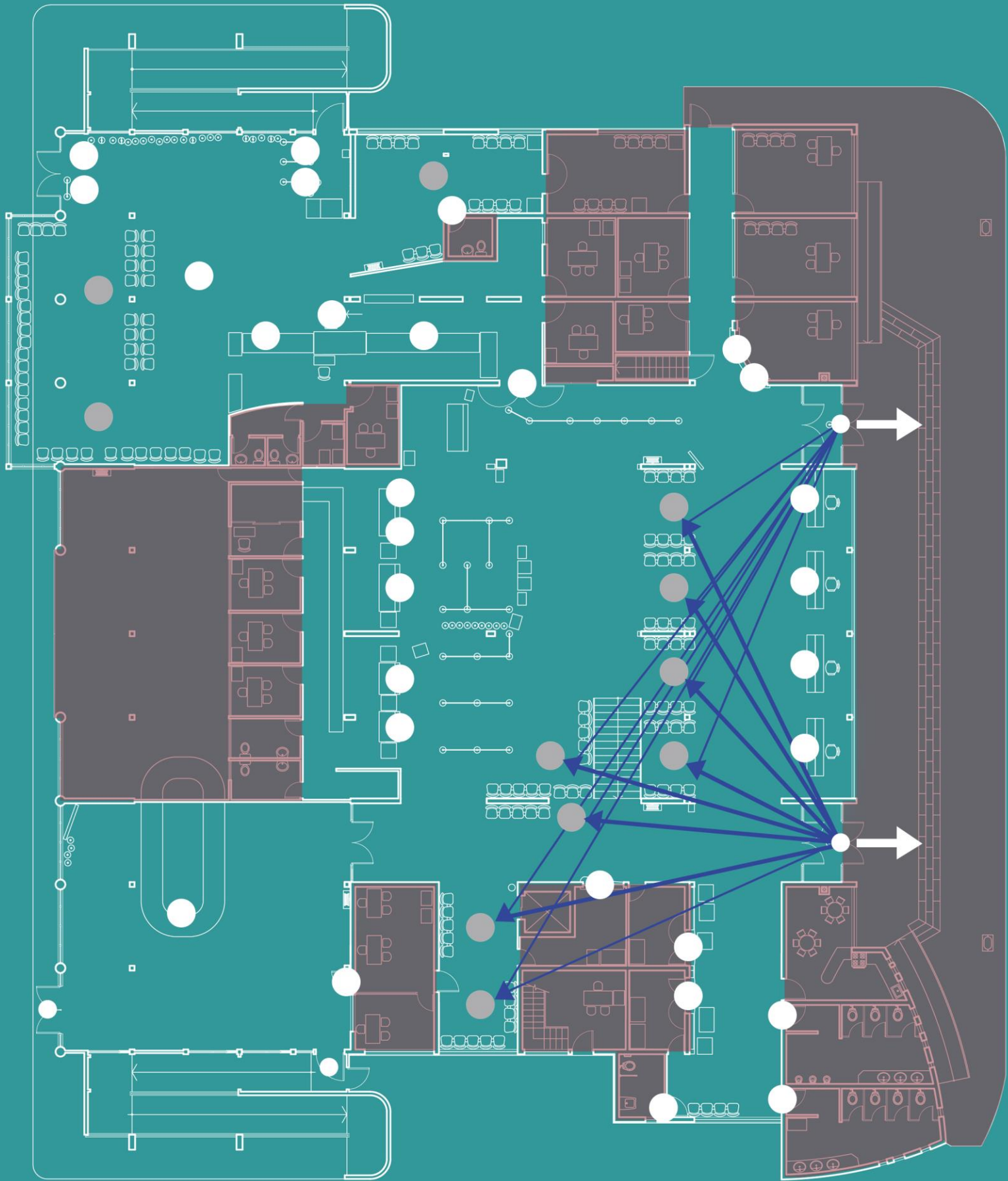
también es necesario mencionar que independiente de los porcentajes anteriores el 2,4% de este grupo buscara acceder a alguno de los Baños del recorrido, donde el 12,4% del total de usuarios buscara cualquiera de las 2 tiendas al interior de la terminal, finalmente para el caso de que dos o más vuelos salientes estén desarrollando embarques en paralelo, los peatones relacionados a la aerolínea B y C tenderán una probabilidad del 36% de utilizar los puntos de Fast Check-in en el hall central ,además en para este mismo caso los pasajeros de la aerolínea B utilizaran la puerta N°2 y los de la aerolínea C utilizaran la putera N°3, mantenido las probabilidades ya establecidas.

Para el caso de los "Desembarcantes" el 52% de ellos aparecerán por la pueta de desembarque N°2, el resto aparecerá por la puerta N°1, mientras que del universo total de este grupo el 43% buscara acceder a la cinta de recepción de equipajes, la cual en promedio plantea una permeancia de entre 5 a 15 minutos por personas y tiene plazas para alrededor de 17 a 20 lugares, por lo demás para este grupo de personas el 24% de ellos buscara acceder a cualquiera de los módulos de rent a car ubicados en el hall central mientras que un 9% buscara acceder a los módulos de informaciones y un 5% a los baños, además de un 13% a cualquiera de las tiendas ubicadas en el hall central.

Finalmente el grupo de los "Acompañantes" tendrá por primera prioridad en un 87% el acceder a cualquiera de los puntos de espera distribuidos por el hall central, independiente de esto el 13% de este grupo buscara acceder a los baños y un 15,7% buscara acceder alguna de las tiendas del hall central, además es posible que el 68% del total de este grupo salga de inmediato de la terminal si existe una saturación mayor a 0,5 personas/m<sup>2</sup>, independientemente de esto, el 93% de este grupo buscara salir de la terminal si la cantidad de "Abordantes" se reduce al 25%.



Figura 71: Planta general de la Terminal de pasajeros mostrando la lógica peatonal de los "Acompañantes" para un vuelo entrante de la puerta N°1,  
Fuente: Elaboración Propia, basados en información entregada por DAP Los Ríos.



Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo Blanco, puntos de espera marcados con un punto de color gris, las flechas Azules representan movimos desde las entradas de los espacios a las salidas o puntos de interés, el grosor del cuerpo de la flecha indica la probabilidad de la ruta seleccionada.



6,1 m

Finalmente es necesario introducir la distribución demográfica de los peatones en el espacio por cada grupo mencionado, ya que esto define la velocidad y dimensiones que poseen, lo que afecta directamente al comportamiento peatonal, así en primero hay que mencionar que, la distribución de los "Abordantes", "Desemabrcantes" y "Acompañantes" es, de un 65,52% entre las edades de 15 años hasta los 65, donde la velocidad promedio de movimiento de este rango etario, es de alrededor de 1,2m/s hasta 1,94 m/s, con una dimensión corporal de 62,5 cm de diámetro con una variación de 20%, un 12,24% de los ocupantes del espacio está en el rango entre los 65 y 100 años, donde la velocidad promedio varía entre los 0,4 m/s hasta los 1,47 m/s, considerando una dimensión corporal de 62,5 cm con una variación del 35%, finalmente se considera el rango etario de 0 años hasta los 15, correspondiente al 19,24% de la población del proyecto, este grupo posee una velocidad promedio de entre 0,5 m/s hasta 1,83 m/s y una dimensión corporal que va desde los 34,5 cm hasta los 62,5 cm, sin embargo este segmento de la población dada sus condiciones, no puede circular por el entorno de la terminal, sin la compañía de algún peatón de cualquiera de los otros dos grupo, por lo tanto para la construcción de las simulaciones al 20% de los peatones de los otros grupos etarios se le agregara un 40% a su tamaño corporal y se le reducirá en un 20% su velocidad para emular la compañía de uno o dos niños, es necesario acotar también, que los trabajadores de la terminal y de terceros poseerán una dimensión corporal de 62,5 y una velocidad promedio de 1,75 m/s, ya que la totalidad pertenecerían a la categoría de entre 15 hasta 65 años.

Finalmente es necesario mencionar que la información presentada en este punto esta recabada de lo aportado por la DAP Los Ríos, sintetizado de una serie de informes pertenecientes a los estudios relativos al proceso de licitación de la concesión y ampliación el aeródromo Pichoy, documentos que a la fecha indicada en este seminario de Investigación aún no han sido concluidos ni liberados al público conocimiento.

## 5.4.- Análisis de las Observaciones de Campo

Para finalizar la presentación del caso de estudio y pasar al análisis y comprobación de la simulación peatonal es necesario presentar lo observado y comprendido de las dinámicas peatonales y su relación con el espacio a través del análisis de campo, éste mencionado análisis de campo se desarrolló el día martes 26 de octubre del año 2021, así éste día fue seleccionado precisamente por el nivel de saturación que se iba a presentar en aquél momento, porque se daba un escenario donde había dos vuelos entrantes y a su vez, dos vuelos salientes, espaciados entre sí en 45 minutos, por lo tanto, el nivel de saturación que habría en la terminal durante la visita de campo calificaría como medio, lo que facilitó la observación y el registro de las dinámicas peatonales.

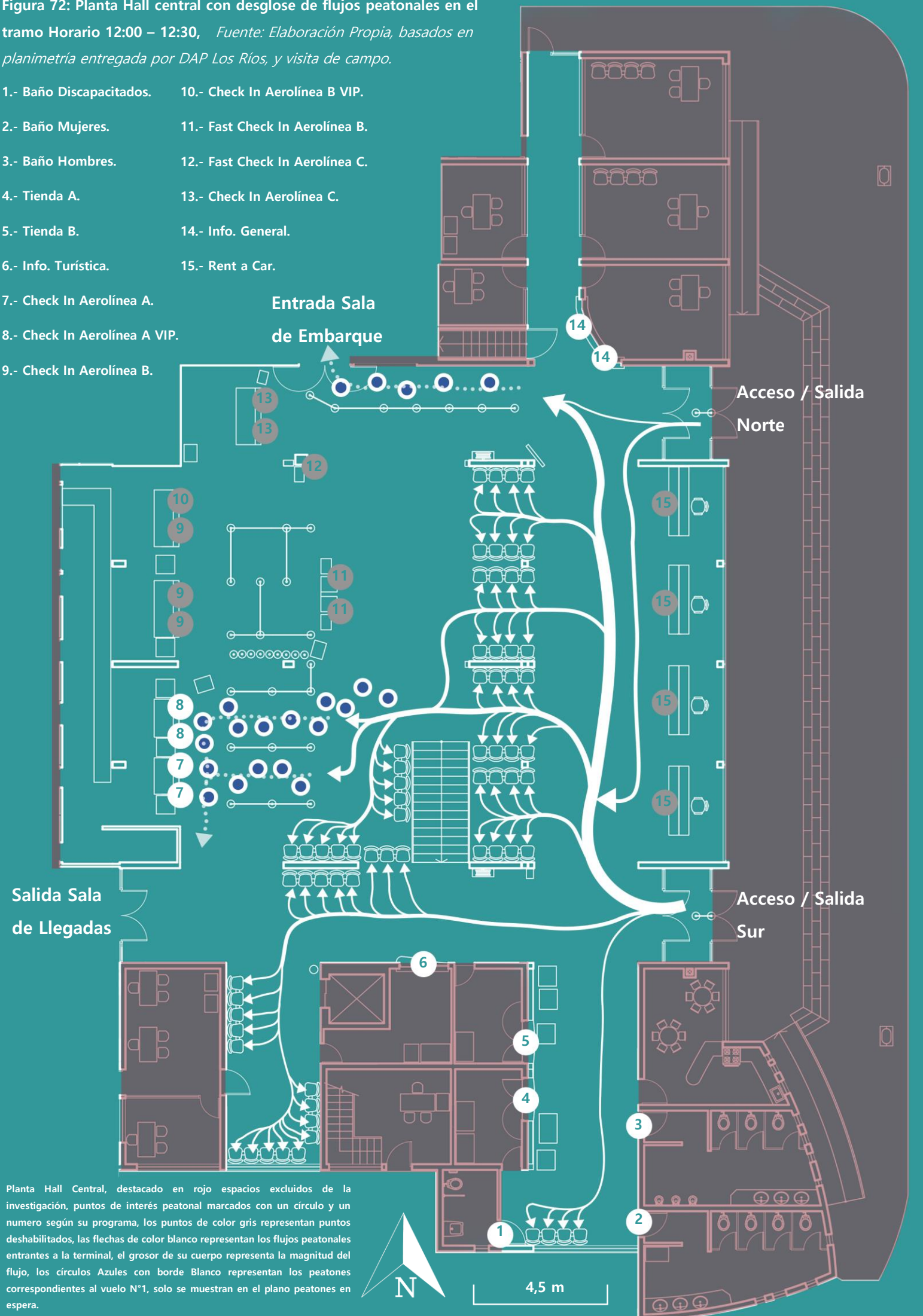
Por asuntos prácticos y de comprensión el análisis y las observaciones de campo están separadas en función de los tres espacios descritos en el punto 5.2 de esta investigación, donde primero se tratará el hall central, después se tratará la sala de embarque y finalmente se tratará la sala de llegadas, así también es necesario acotar que la duración de la visita fue de 2 horas y media, donde esta inició a las 12:00 del día y finalizó a las 14:30 horas de la tarde, donde por lo tanto se pudo observar tanto el tráfico generado por el desembarque del vuelo entrante el cual estaba fijado para su arribo a las 13:30 horas como el flujo peatonal generado por el vuelo saliente de aquél día el cual estaba fijado para las 14:00 horas, permitiendo también esta visita observar la primera etapa de la llegada de los pasajeros del segundo vuelo entrante del día pero sin observar el resto del proceso de embarque de ese vuelo.

- **1.-** Observaciones de campo del hall principal de la terminal de pasajeros del aeródromo Pichoy, para empezar, la observación de este espacio en particular inicia a las 12:00 del día, hora en la cual comienzan a llegar los primeros pasajeros y sus acompañantes del primer vuelo del día, en esta etapa es necesario mencionar que la mayoría de los pasajeros que llegan a la terminal, ingresan a esta por la puerta sur del hall central ya que esta puerta está considerablemente más cerca del check in de la aerolínea A, es evidente que los peatones al ingresar al espacio de la terminal se dividen en dos grupos los primeros que corresponden a alrededor de un tercio se acercan a los



Figura 72: Planta Hall central con desglose de flujos peatonales en el tramo Horario 12:00 – 12:30, Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- 1.- Baño Discapacitados.
- 2.- Baño Mujeres.
- 3.- Baño Hombres.
- 4.- Tienda A.
- 5.- Tienda B.
- 6.- Info. Turística.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.
- 10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 13.- Check In Aerolínea C.
- 14.- Info. General.
- 15.- Rent a Car.



Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan los flujos peatonales entrantes a la terminal, el grosor de su cuerpo representa la magnitud del flujo, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera.



Figura 73: Fotografías del Hall central entre las 12:00 – 12:30, Fuente:

(Ambas) Elaboración Propia.



Check - In de la Aerolínea A, evidenciando la formación de filas y una leve congestión, fotografía tomada a las 12:07.



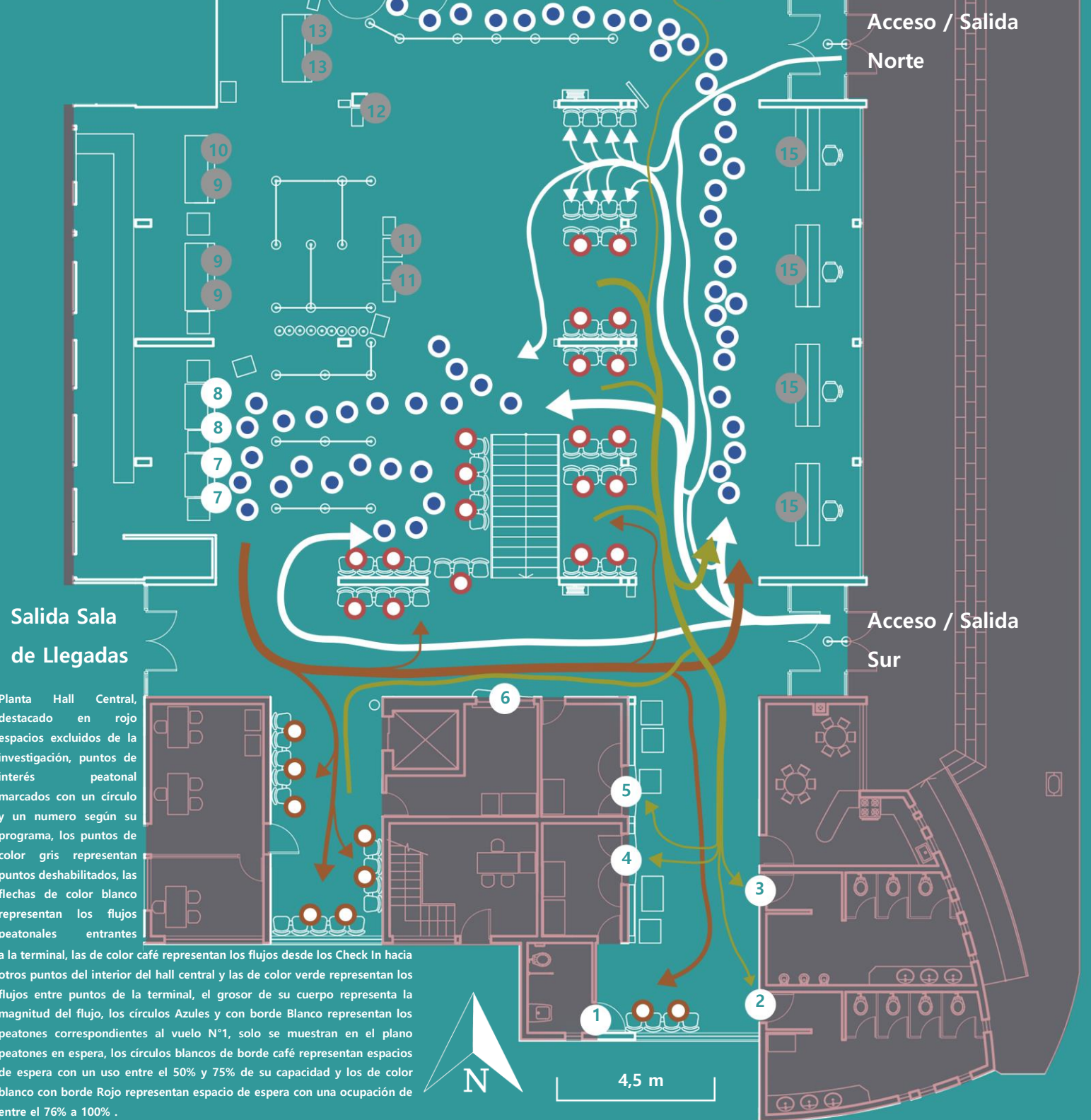
Espacio central de Hall, evidenciando como las personas en el espacio empiezan desarrollar patrones de espera, mientras que en el espacio adyacente se el tránsito de peatones desde el acceso sur hacia la fila de acceso de la sala de embarque, fotografía tomada a las 12:14.

puntos de check in de la aerolínea A, mientras que de los dos tercios restantes un grupo se distribuye alrededor de los diferentes asientos de que dispone la terminal, mientras otro grupo minoritario empieza a hacer la fila para acceder a la sala de embarque, también es notorio que dada la distribución de las puertas un grupo de peatones no menor sigue a través del pasillo que conduce a la sala de llegadas para ir al check in de la aerolínea A, esto puede deberse a que desde el acceso sur hay una serie de muros y pilares que bloquean la visión, junto con la escalera que corta el espacio de la terminal sin embargo a estas alturas de la visita la cantidad de personas en el recinto en general no es mayor a las 100 y hasta ahora ha ido accediendo a razón de una a tres personas por minuto, con un 75% de probabilidad de acceder por la puerta sur y con un 25% de probabilidad de acceder por la puerta norte, para el caso de los peatones que acceden por la puerta norte, presentan cierta tendencia a llegar en grupos de personas de entre dos a cinco, mientras que por el otro acceso suelen llegar peatones individuales o grupos de hasta tres personas, a las 12:30 es evidente una disminución en la llegada de personas, donde pareciese ser que estas están accediendo a la terminal entre una y una y media persona por minuto, sin embargo los espacios de espera en el centro de la terminal han sido completamente ocupados y los peatones tienden a dispersarse hacia el sur del edificio, además las filas que se general tanto en el check in como en el check in prioritario de la aerolínea A aumentan en tamaño y sobrepasan la longitud de las contenciones definidas para estas, congestionando el espacio adyacente a la escalera condicionando el movimiento fluido de los peatones que ingresan desde la puerta sur, lo que produce una aparente disminución de la velocidad de las personas, también es evidente que la fila que proviene desde el acceso de la sala de embarque se ha duplicado y se acerca al pasillo que está previo al acceso norte, además las personas que dejan el check in tienen problemas para circular hacia los espacios de espera ya que el espacio para pasar parece relativamente angosto. A las 13:00 horas la cantidad de personas en la terminal ha aumentado rápidamente congestionando fuertemente el espacio central del hall y la zona de los check in, también la disponibilidad de espacios de espera es baja y muchos peatones empiezan a parecer desorientados al acceder por la puerta sur también es notorio que la fila de acceso a la sala de embarque se ha triplicado o cuadruplicado alcanzando a bloquear



Figura 74: Planta Hall central con desglose de flujos peatonales en el tramo Horario 12:30 – 13:00, Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- 1.- Baño Discapacitados.
- 2.- Baño Mujeres.
- 3.- Baño Hombres.
- 4.- Tienda A.
- 5.- Tienda B.
- 6.- Info. Turística.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.
- 10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 13.- Check In Aerolínea C.
- 14.- Info. General.
- 15.- Rent a Car.



Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan los flujos peatonales entrantes a la terminal, las de color café representan los flujos desde los Check In hacia otros puntos del interior del hall central y las de color verde representan los flujos entre puntos de la terminal, el grosor de su cuerpo representa la magnitud del flujo, los círculos Azules y con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos blancos de borde café representan espacios de espera con un uso entre el 50% y 75% de su capacidad y los de color blanco con borde Rojo representan espacio de espera con una ocupación de entre el 76% a 100% .



4,5 m

Figura 75: Fotografías del Hall central entre las 12:30 – 13:00, Fuente:

(Ambas) Elaboración Propia.



Check - In de la Aerolínea A, evidenciando el crecimiento de la fila, excediendo las contenciones, congestionado los espacios adyacentes a las escaleras, fotografía tomada a las 12:40.

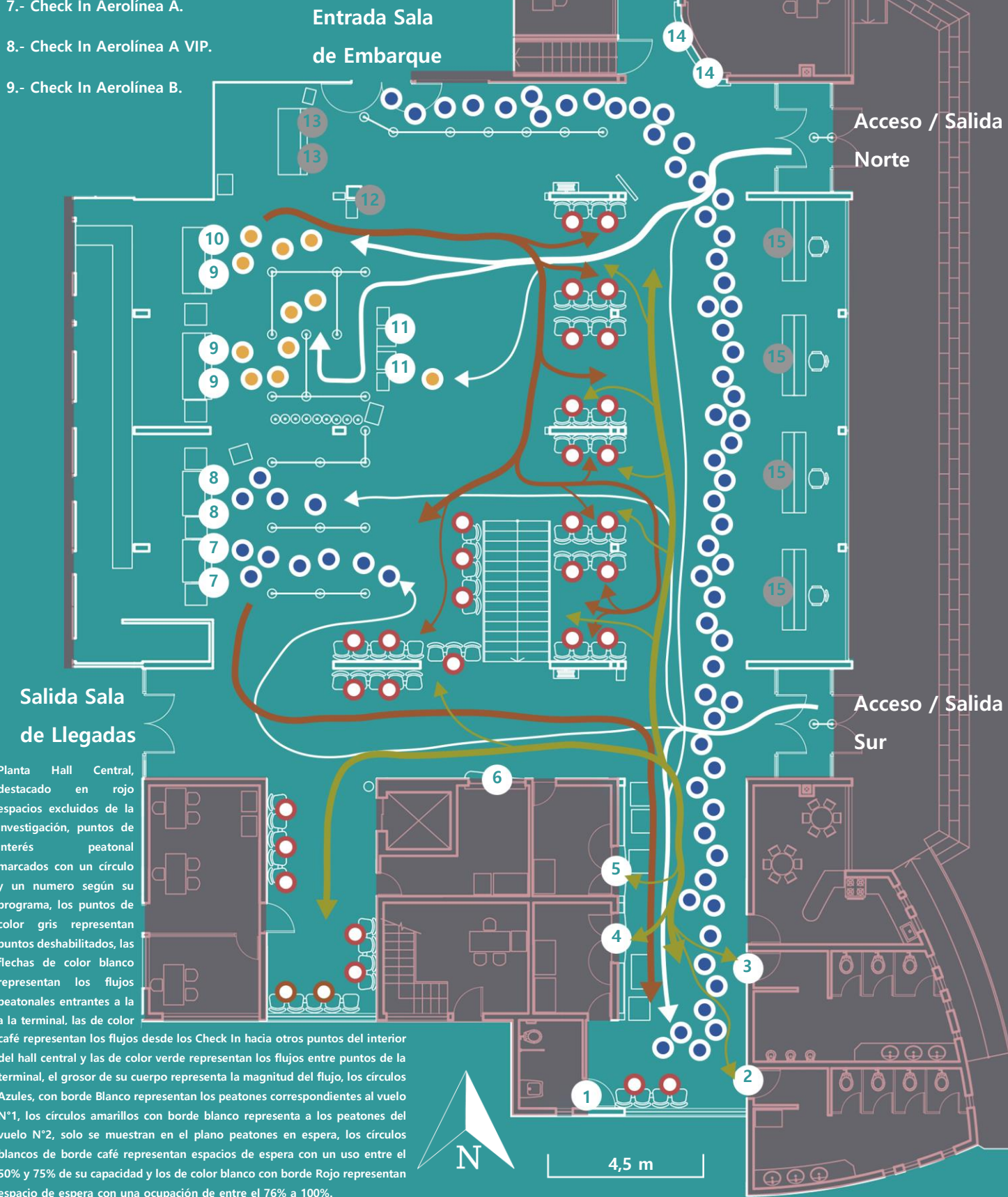


Espacio lateral del Hall central, evidenciando un crecimiento rápido de la fila de acceso a la sala de embarque, esta ha aumentado de tamaño y de densidad, cortando el espacio de circulación adyacente y generando un cuello de botella en el acceso norte, fotografía tomada a las 12:55.



Figura 76: Planta Hall central con desglose de flujos peatonales en el tramo Horario 13:00 – 13:30, Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- 1.- Baño Discapacitados.
- 2.- Baño Mujeres.
- 3.- Baño Hombres.
- 4.- Tienda A.
- 5.- Tienda B.
- 6.- Info. Turística.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.
- 10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 13.- Check In Aerolínea C.
- 14.- Info. General.
- 15.- Rent a Car.



Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un número según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan los flujos peatonales entrantes a la terminal, las de color café representan los flujos desde los Check In hacia otros puntos del interior del hall central y las de color verde representan los flujos entre puntos de la terminal, el grosor de su cuerpo representa la magnitud del flujo, los círculos Azules, con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, los círculos amarillos con borde blanco representa a los peatones del vuelo N°2, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos blancos de borde café representan espacios de espera con un uso entre el 50% y 75% de su capacidad y los de color blanco con borde Rojo representan espacio de espera con una ocupación de entre el 76% a 100%.



Figura 77: Fotografías del Hall central entre las 13:00 – 13:30, Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Imagen evidenciando el crecimiento de la fila de la sala de embarque, la cual se empieza a ajustar el espacio de circulación de el acceso sur, generando una reducción de la velocidad abrupta, fotografía tomada a las 13:16.



Imagen tomada desde el norte de hall mostrando como hacia el fondo del espacio adyacente se empieza a plegar la fila sobre si misma aumentando gradualmente de densidad, fotografía tomada a las 13:28.

completamente el acceso norte y estirándose hacia el acceso sur de manera centrada en el pasillo, es necesario mencionar que alrededor de las 13:00 horas se permite el acceso de alrededor de 35 personas a la sala de embarque lo que reduce levemente la fila, sin embargo esto aparentemente motiva a más peatones a desplazarse a ese patrón de espera, en este momento el punto de mayor congestión está en la salida sur, ya que hay una cantidad de personas considerable entrando al edificio, las que al no poder ubicar directamente el check in reducen su velocidad y se cruzan con las personas que están circulando desde y hacia los baños y las tiendas, esto genera un punto de tráfico complejo que también produce congestión en la parte adyacente a la escalera. Llegada las 13:30 horas, arriba el primer vuelo mientras que una gran cantidad de personas se ordenan en la fila que da acceso a la sala de embarque, la que permite el acceso ilimitado de personas desde las 13.20, sin embargo en este punto la fila se empieza a proyectar hacia el fondo del pasillo adyacente al espacio central del hall de la terminal, llegando hasta el fondo y plegándose en si misma generando una barrera virtual para las personas que acceden a la terminal desde los accesos sur y norte, además las filas del check in de la aerolínea A se han reducido drásticamente siendo en este momento casi ínfimas hay que acotar que a partir de las 13:35 horas una gran masa de personas emerge a través de las puertas de la sala de llegadas reduciendo drásticamente su movimiento por el cuello de botella generado por el mismo pasillo que conduce a la salida sur donde los peatones que buscan salir del edificio chocan con la fila generada por la entrada de la sala de embarque causando gran congestión, es evidente que dentro de los pasajeros que están accediendo a la terminal la mayoría de estos son del segundo vuelo del día, los que en su mayoría acceden por la puerta norte moviéndose a través de la zona de espera dispuesta entre los pilares de la terminal hacia el check in de la aerolínea B y las distintas zonas de espera, que se han desocupado levemente, también es necesario acotar que la proximidad de la salida del primer vuelo reduce el tamaño de la fila en un 30% respecto del tamaño máximo alcanzado alrededor de las 13:45 horas, además cerca de las 14:00 horas las personas presentes en el hall central de la terminal han aumentado considerablemente en cantidad dejando gracias pasajeros del segundo vuelo. Llegadas las 14:30 horas se empiezan a reproducir los fenómenos observados en la fila del check in

Figura 78: Planta Hall central con desglose de flujos peatonales en el tramo Horario 13:30 – 14:00, Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- 1.- Baño Discapacitados.
- 2.- Baño Mujeres.
- 3.- Baño Hombres.
- 4.- Tienda A.
- 5.- Tienda B.
- 6.- Info. Turística.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.
- 10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 13.- Check In Aerolínea C.
- 14.- Info. General.
- 15.- Rent a Car.

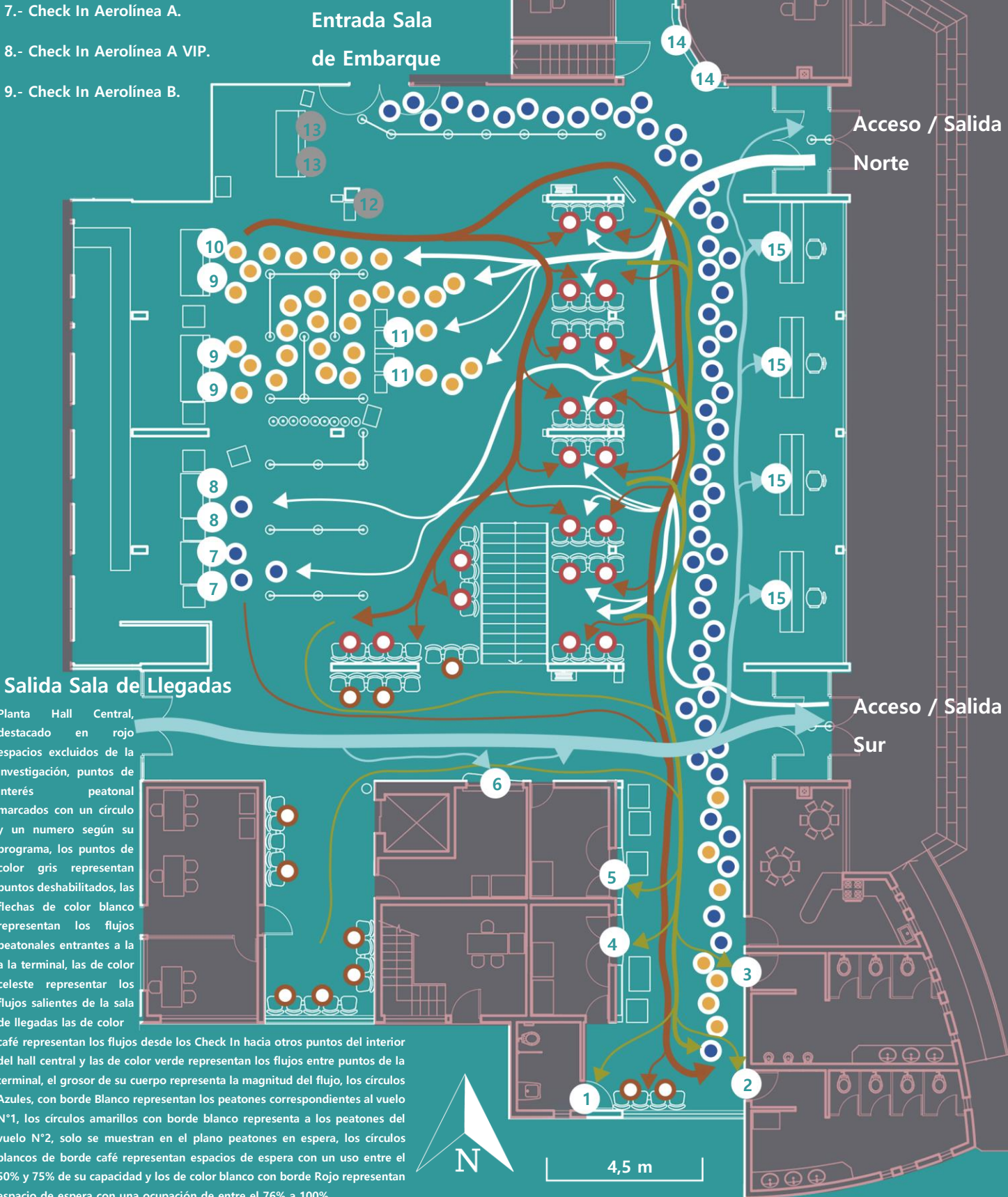




Figura 79: Fotografías del Hall central entre las 13:30 – 14:00, Fuente:

(Ambas) Elaboración Propia.



Imagen tomada desde la salida de la sala de embarque, evidenciando una gran masa de personas tratando de salir hacia el acceso sur de la terminal, reduciendo su velocidad al contacto con la fila, fotografía tomada a las 13:39



Imagen tomada desde el segundo nivel de la terminal mostrando el punto conflictivo y cuello de botella generado por la intersección de la fila de la sala de embarque con las personas salientes de la sala de llegadas y los peatones que transitan hacia el interior de la terminal, fotografía tomada a las 13:48.

Figura 80: Planta Hall central con desglose de flujos peatonales, en el tramo Horario 14:00 – 14:30, Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- 1.- Baño Discapacitados.
- 2.- Baño Mujeres.
- 3.- Baño Hombres.
- 4.- Tienda A.
- 5.- Tienda B.
- 6.- Info. Turística.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.
- 10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 13.- Check In Aerolínea C.
- 14.- Info. General.
- 15.- Rent a Car.



**Salida Sala de Llegadas**

Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan los flujos peatonales entrantes a la terminal, las de color celeste representan los flujos salientes de la sala de llegadas las de color café representan los flujos desde los Check In hacia otros puntos del interior del hall central y las de color verde representan los flujos entre puntos de la terminal, el grosor de su cuerpo representa la magnitud del flujo, los círculos Azules, con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, los círculos amarillos con borde blanco representa a los peatones del vuelo N°2, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos blancos de borde café representan espacios de espera con un uso entre el 50% y 75% de su capacidad y los de color blanco con borde Rojo representan espacio de espera con una ocupación de entre el 76% a 100%.



4,5 m



Figura 81: Fotografías del Hall central entre las 14:00 – 14:30, Fuente:

(Ambas) Elaboración Propia.



Imagen tomada desde el segundo nivel de la terminal mostrando como se aumenta la fila de la sala de embarque, y como se empiezan a rellenar los espacios de espera, fotografía tomada a las 14:08



Imagen tomada desde el segundo nivel de la terminal evidenciando el desarrollo de patrones de espera en torno al Check – In de la Aerolínea B, congestionado el espacio central de la terminal y el espacio adyacente a la escalera, fotografía tomada a las 14:17.



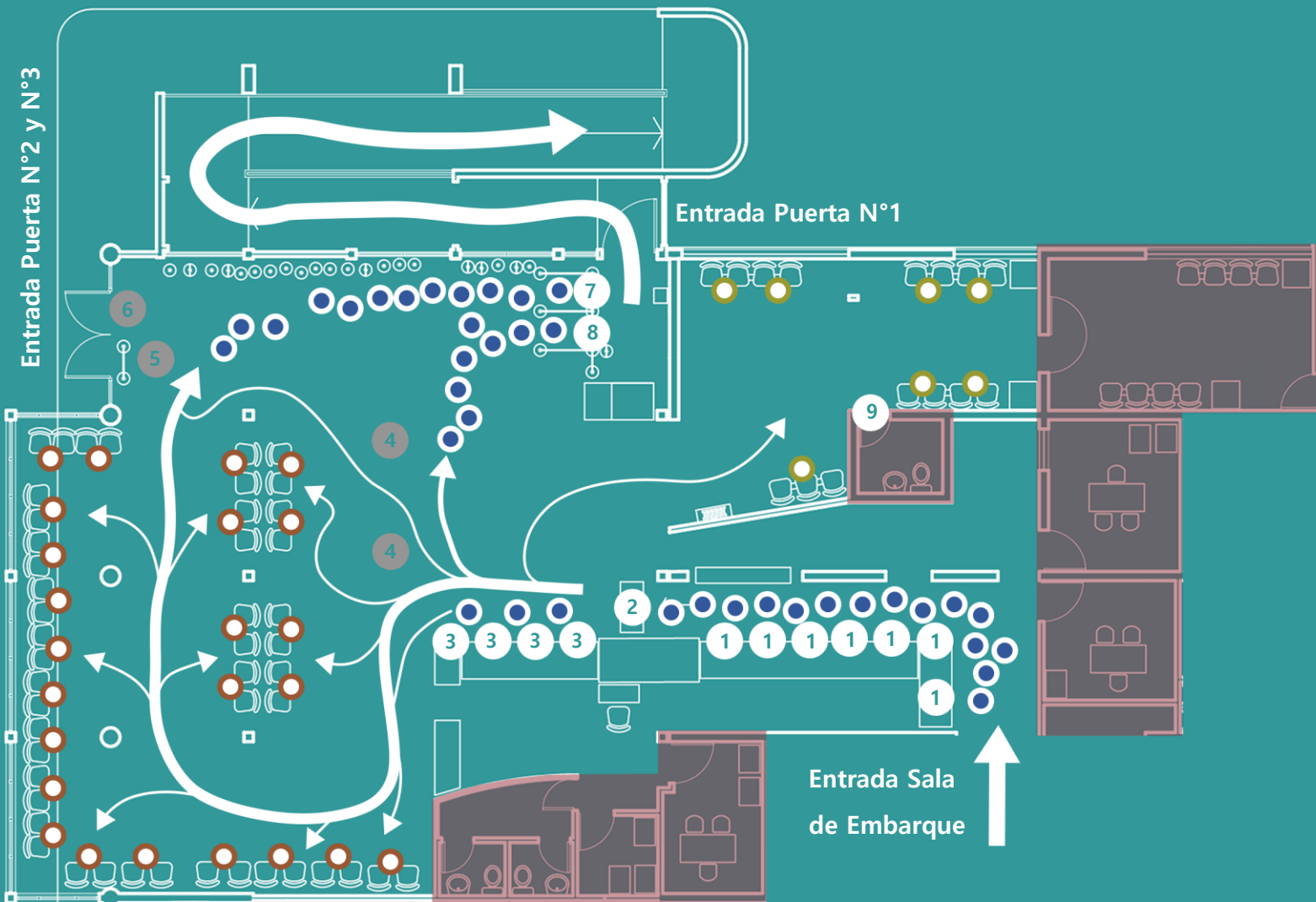
de la aerolínea A y en el espacio central del hall, sin embargo, en esta ocasión, esto ocurre en el check in de la aerolínea B, donde la mayor cantidad de peatones accede por el norte de la terminal lo que causa un tráfico relativamente menos fluido y directo gracias a la formación de la fila de la sala de embarque complica el tránsito de grupos de peatones cohesionados generando un leve cuello de botella con los machones presentes en este recinto.

- **2.-** Observaciones de campo de la sala de embarque del aeródromo Pichoy, el análisis de este espacio se inicia a las 13:00 horas, momento en el cual los primeros peatones acceden al control de seguridad siendo evidente que lo angosto del pasillo en esa zona, dificulta el movimiento generando una leve aglomeración antes del detector de metales, donde posteriormente los peatones se distribuyen con cierta facilidad en los espacios de espera más cercanos a las ventanas, sin embargo un grupo de peatones se desplaza hacia el otro espacio de espera que está emplazado en el oriente, también es observable que alrededor de las 13:15 horas dejan de transitar personas hacia el interior de este recinto desvaneciéndose la aglomeración inicialmente descrita, también es preciso indicar que un grupo de peatones se forma en las filas de la puerta número uno siendo, siendo este grupo una cantidad considerable. A las 13:20 horas se reanuda el acceso del personas a la sala de embarque, estas se tienden a aglomerar rápidamente atrás del detector de metales y en los dos puntos designados para el control de identidad, en el espacio central de la sala, entorpeciendo el movimiento de los peatones en el espacio central de la sala de embarque, también las filas generadas por la puerta número uno tiene den a duplicarse congestionando levemente esa parte del espacio, sin embargo en este espacio entre las 13:30 horas y las 13:45 horas existe una inyección continua de personas a la sala de embarque lo que aumenta levemente la congestión y el tamaño de las filas donde sin embargo parte de la zona occidental de este lugar se desocupa gradualmente, donde finalmente alrededor de las 13:45 horas el espacio interior de la sala de embarque reduce la cantidad de personas presentes, dejándose de inyectar personas desde el hall principal y vaciándose el espacio alrededor de las 14:05 horas, dejando la impresión de nunca haber alcanzado un nivel de saturación similar a los vistos en el hall de la terminal.

Figura 82: Planta sala de embarque con desglose de flujos peatonales, en el tramo horario 13:00 - 13:30,

Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- |  |   |
|--|---|
| 1.- Drop Off Rayos X, punto de Seguridad.  | 6.- Fila de embarque prioritario Puertas N°2 y N°3. |
| 2.- Detector de Metales.                   | 7.- Fila de embarque Puertas N°1.                   |
| 3.- Drop In Rayos X, punto de Seguridad.   | 8.- Fila de embarque prioritario Puertas N°1.       |
| 4.- Control de Identidad / Tarjeta de Emb. | 9.- Baño Discapacitados                             |
| 5.- Fila de embarque Puertas N°2 y N°3.    |   |



Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo, y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, flechas de color blanco representan los flujos patronales entrantes al espacio de la sala de embarque y salientes por la puerta N°1, el grosor de su cuerpo representa la magnitud del flujo, los círculos azules con borde Blanco representan a los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos blancos con borde café representen espacios de espera con una ocupación, entre un 50% y 75% de ocupación, los círculos blancos con bordes verdes, representan espacio de espera con una ocupación entre el 0% y el 49%.

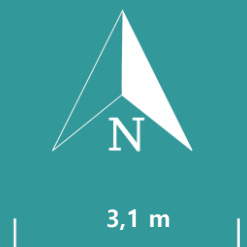


Figura 83: Fotografías de la sala de Embarque entre las 13:00 – 13:30,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Imagen interior de la sala de embarque evidenciando la aglomeración al fondo de la sala previo al control de seguridad, fotografía tomada a las 13:08



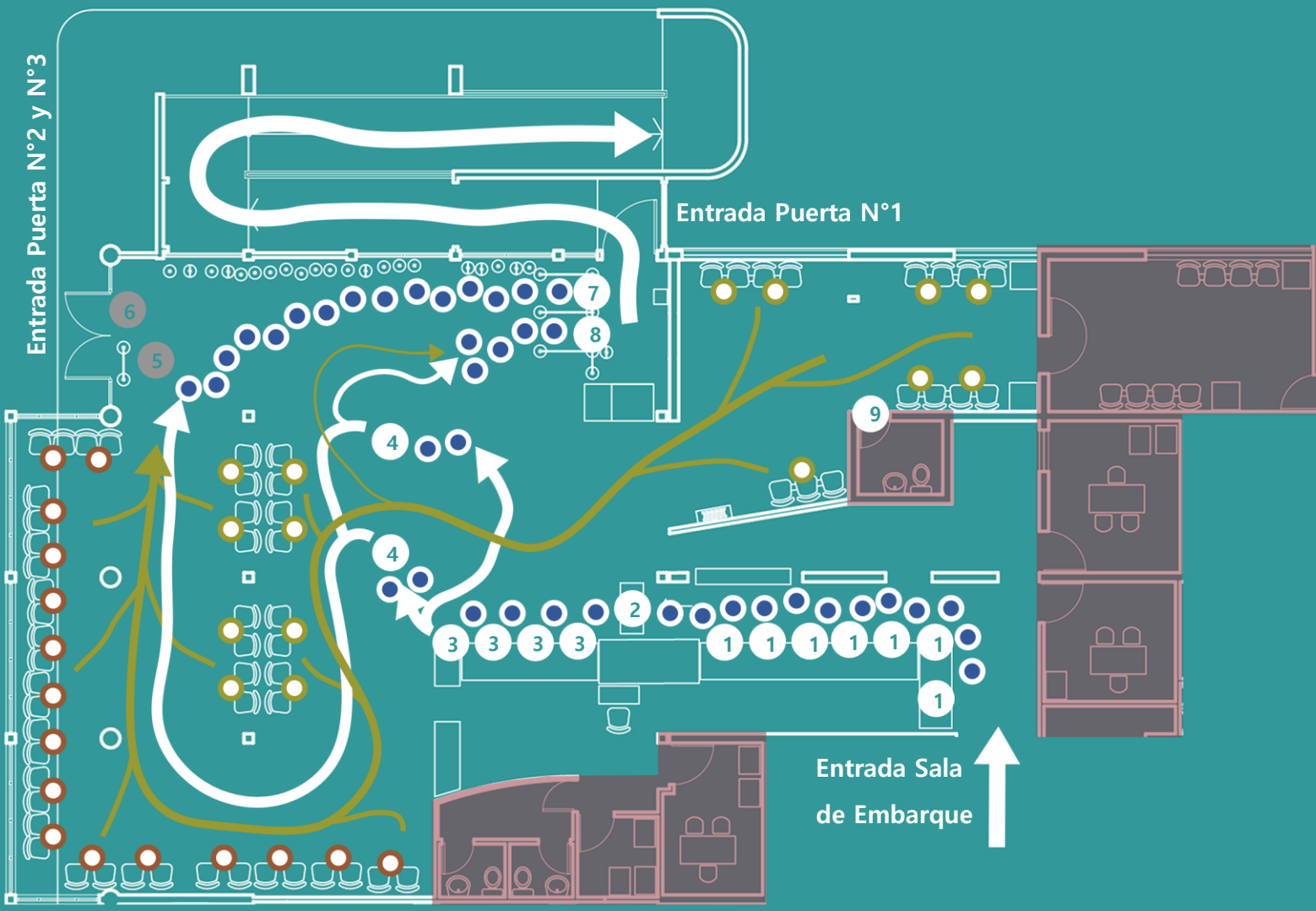
Imagen de las filas generadas en torno a la puerta N°1, y el control de identidad empleado en el centro del espacio, donde se genera una congestión del espacio de circulación, fotografías tomadas a las 13:29.



Figura 84: Planta sala de embarque con desglose de flujos peatonales, en el tramo horario 13:30 - 14:00,

Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

- 1.- Drop Off Rayos X, punto de Seguridad.
- 2.- Detector de Metales.
- 3.- Drop In Rayos X, punto de Seguridad.
- 4.- Control de Identidad / Tarjeta de Emb.
- 5.- Fila de embarque Puertas N°2 y N°3.
- 6.- Fila de embarque prioritario Puertas N°2 y N°3.
- 7.- Fila de embarque Puertas N°1.
- 8.- Fila de embarque prioritario Puertas N°1.
- 9.- Baño Discapacitados



Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo, y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, flechas de color blanco representan los flujos patronales entrantes al espacio de la sala de embarque y salientes por la puerta N°1, las flechas de color verde representan flujos peatonales desde un punto del espacio de la sal a otro, el grosor de su cuerpo representa la magnitud del flujo, los círculos azules con borde Blanco representan a los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos blancos con borde café representetan espacios de espera con una ocupación, entre un 50% y 75% de ocupación, los círculos blancos con bordes verdes, representan espacio de espera con una ocupación entre el 0% y el 49%.



Figura 85: Fotografías de la sala de Embarque entre las 13:30 – 14:00,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Imagen de la sala de embarque, donde se evidencia la formación de la fila de embarque de la puerta N°1, además de un grupo de peatones que se mueven por el espacio central, mientras gradualmente se reduce la cantidad de personas, fotografía tomada a las 13:48.



Imagen mostrando los espacios de espera de la sala de embarque, donde se evidencia la el tránsito de personas desde los puntos de espera hacia las filas de la puerta N°1, fotografía tomada a las 13:54.

- **3.-** Observaciones de campo de la sala de llegadas del aeródromo Pichoy, este análisis inicia a las 13:30 horas con el arribo del primer vuelo, de este modo rápidamente empiezan a acceder al espacio una masa continua de personas a través de las puert de desembarque número uno, es evidente que en principio el primer tercio de esta masa es de baja densidad pero ya pasando entre 5 y 7 minutos la cantidad de personas en el espacio aumenta drásticamente y un grupo considerable empieza a posicionarse alrededor de la cinta de recepción de equipaje, lo que genera una reducción del espacio disponible para circular, cuando que los peatones provenientes de la puert de desembarque número dos generen un cuello de botella en la parte central de la sala, justo antes de la intersección de los flujos peatonales provenientes de la puert de desembarque número uno, aumentando su densidad y reduciendo su velocidad, al generarse un segundo cuello de botella en la salida de esta sala, finalmente la densidad peatonal en este espacio se mantiene constante durante alrededor de 10 minutos antes de las 14:00 horas, donde la mayor parte de los peatones acceden al espacio por la puert de desembarque número dos, finalizando la observación de esta sala con una rápida caída en la densidad y cantidad de personas en el espacio y un aumento en la velocidad de circulación desocupándose este espacio por completo alrededor de las 14:00 horas.

Para concluir este análisis de campo es necesario comentar que, el espacio más saturado de la terminal es la sala de llegadas donde su geometría reducida permite la formación de cuellos de botella con mucha frecuencia y obliga a los flujos peatonales a entrecruzarse y combinarse, reduciendo la fluidez del movimiento y por ende reduciendo la velocidad, sin embargo el hall central de la terminal presenta múltiples puntos de saturación crónica desperdigados en su planta, probablemente influenciados por la geometría del espacio, por la distribución de los obstáculos interiores y programas de interés, finalmente el espacio menos saturado es la sala de embarque, bajo las condiciones presentadas en la visita de campo, ya que a pesar de poseer un punto de control que genera alta saturación nunca se logra llenar su capacidad por completo generando una serie de espacios residuales y no utilizados.

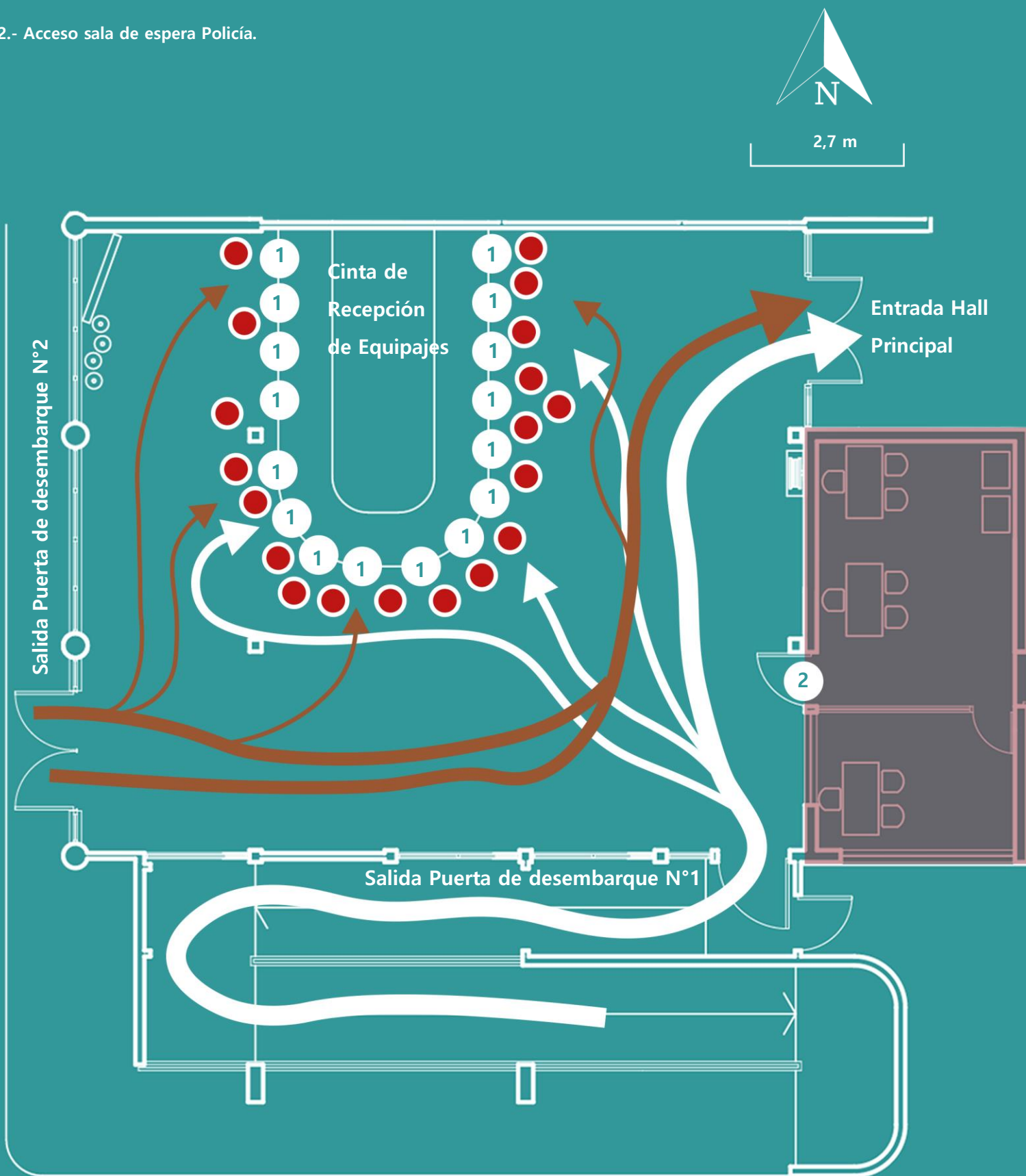


Figura 86: Planta sala de desembarque con desglose de flujos peatonales en el tramo horario 13:30 – 13:45,

Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.

1.- Punto de espera para la cinta de recepción de equipaje.

2.- Acceso sala de espera Policía.



Planta Sala de Llegadas, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, flechas de color blanco indican flujo peatonal proveniente de la Puerta N°1 hacia la salida o la cinta de equipajes, flechas de color café indican flujo peatonal proveniente de la Puerta N°2 hacia la salida o la cinta de equipajes, el grosor del cuerpo de las flechas indica su magnitud peatonal, los círculos rojos con bordes blancos, representan a los pasajeros salientes del vuelo N°1, solo se muestran los peatones que están desarrollando esperas.

Figura 87: Fotografías de la sala de llegadas entre las 13:30 – 13:45,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Imagen de la sala llegadas donde se muestra el primer tercio de las personas provenientes de la puerta de desemboque N°1 dividiéndose en 2 grupos, uno interesado en salir rápidamente y el segundo (menos evidente) en acercarse a la cinta de recepción de equipajes, fotografía tomada a las 13:35.



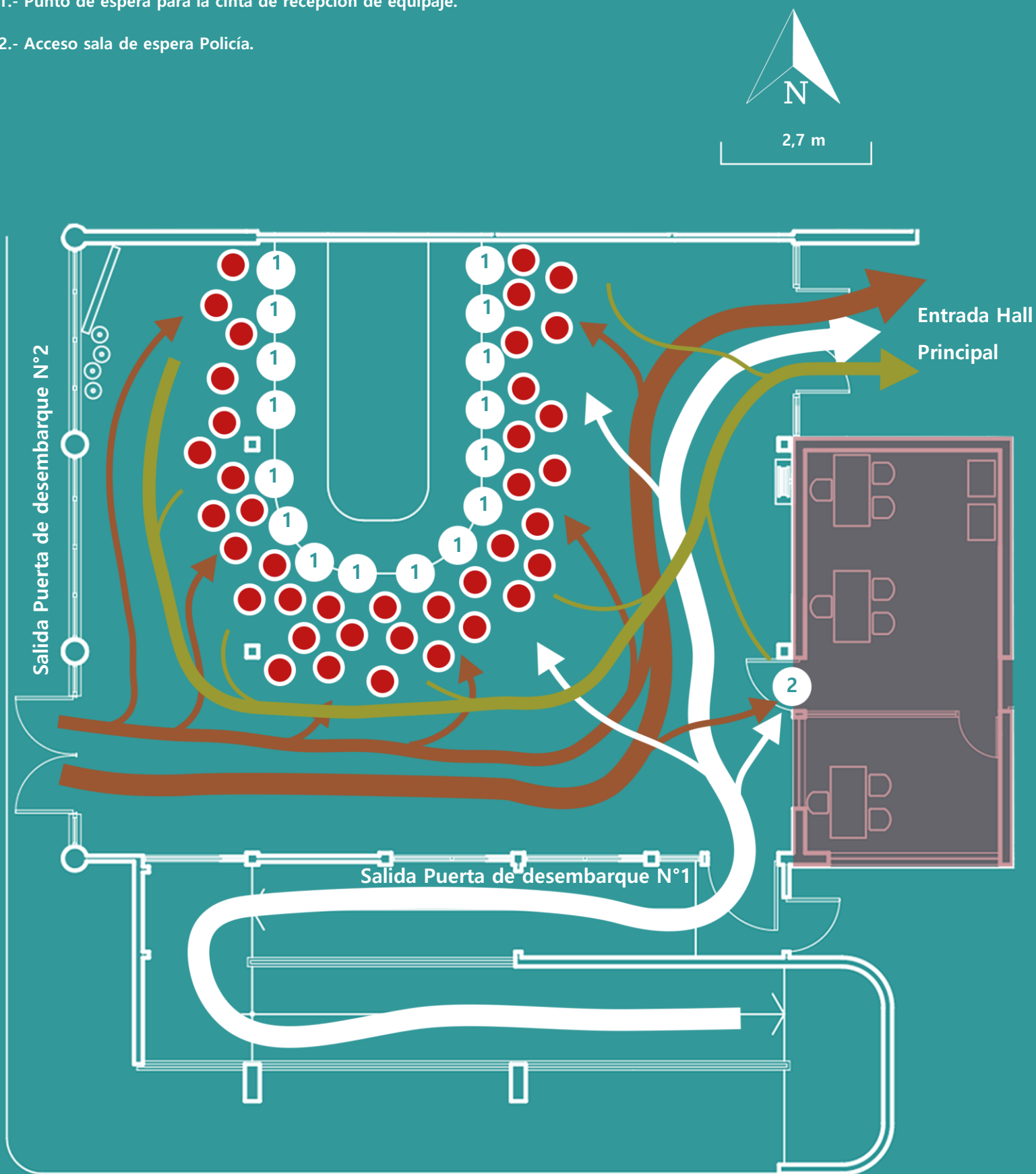
Imagen de la sala de llegadas y la salida principal donde se muestra la conformación de un grupo de personas alrededor de la cinta de equipajes, que gradualmente ira redondo el espacio disponible para circular, fotografía tomada a las 13:38.

Figura 88: Planta sala de desembarque con desglose de flujos peatonales en el tramo horario 13:45 – 14:00,

Fuente: *Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y visita de campo.*

1.- Punto de espera para la cinta de recepción de equipaje.

2.- Acceso sala de espera Policía.



Planta Sala de Llegadas, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, flechas de color blanco indican flujo peatonal provente de la Puerta N°1 hacia la salida o la cinta de equipajes, flechas de color café indican flujo peatonal provente de la Puerta N°2 hacia la salida o la cinta de equipajes, las flechas de color verde indican flujo peatonal desde los puntos de interés al interior de la sala hacia la salida al hall central, el grosor del cuerpo de las flechas indica su magnitud peatonal, los círculos rojos con bordes blancos, representan a los pasajeros salientes del vuelo N°1, solo se muestran los peatones que están desarrollando esperas.



Figura 89: Fotografías de la sala de llegadas entre las 13:45 – 14:00,

Fuente: (Ambas) Elaboración Propia.



Imagen desde la perspectiva de los peatones provenientes de la puerta de desembarque N°2, mostrando como las personas se aglomeran alrededor de la cinta de equipajes, reduciendo las dimensiones del espacio destinado a la circulación, fotografía tomada a las 13:46



Imagen evidenciando como en el tramo final del desembarque del primer vuelo la mayoría de las personas utilizan la puerta N°2, causando un cuello de botella gracias a la reducción del espacio producido por los peatones adyacentes a la cinta e equipajes, fotografía tomada a las 13:55.

# 6.- Capítulo IV, Análisis Experimental del Caso de Estudio.

## 6.1.- Simulación de Control.

6.1.1.- Construcción de la Simulación de Control.

6.1.2.- Análisis de la Simulación de Control.

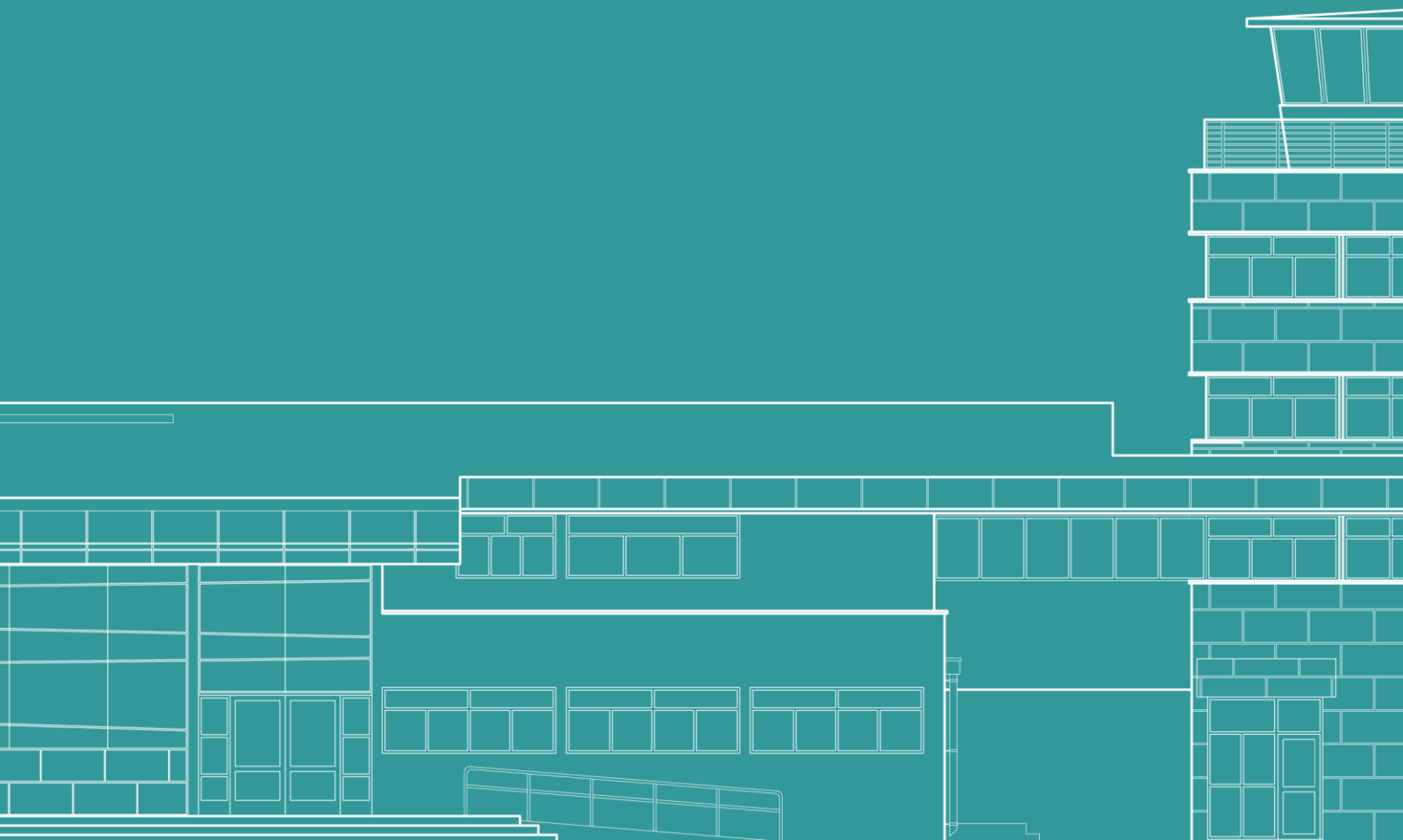
## 6.2.- Planteamiento de los Escenarios de Análisis.

## 6.3.- Aplicación de los Escenarios de Análisis.

6.3.1.- Escenario I, Operación en condiciones de Baja densidad Peatonal.

6.3.2.- Escenario II, Operación en condiciones de Alta densidad Peatonal.

6.3.3.- Escenario III, Operación en Condiciones de Extrema Densidad Peatonal.



## 6.1.- Simulación de Control.

Para comenzar con la demostración experimental de la simulación peatonal sobre el caso de estudio del aeródromo Pichoy, es necesario establecer el nivel de predictibilidad que entrega la solución de software de simulación, para poder corroborar el nivel de confianza asociado a los datos peatonales que el software seleccionado entrega, además hay que considerar se está trabajando en un entorno de laboratorio, lo que naturalmente genera discrepancias con la realidad, lo anterior ya ha sido tratado en el Capítulo Segundo de esta investigación, también es necesario destacar que el escenario presentado por la simulación de control, sirve como insumo para construir y calibrar los escenarios de análisis planteados más adelante, permitiendo esto evaluar la capacidad de la herramienta de entregar información precisa y realista en distintas condiciones de carga.

### 6.1.1.- *Construcción de la Simulación de Control.*

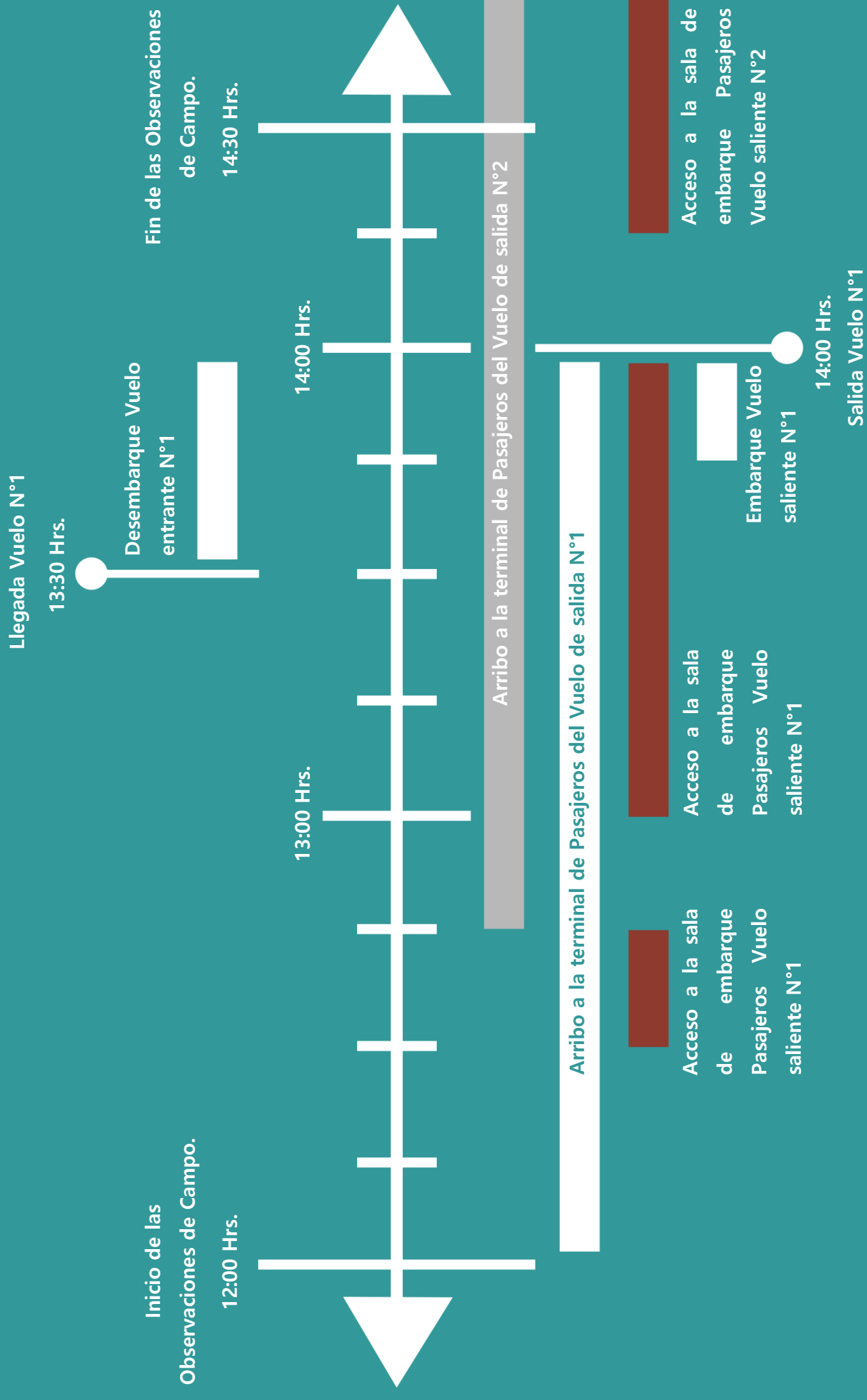
Primeramente, es necesario mencionar que para la construcción de la simulación de control es crítico establecer una línea del tiempo de los eventos observados en la visita de campo, con el fin de programar la simulación en función de los acontecimientos y ocurrencias en el proyecto, para poder lograr un contraste adecuado, así estos eventos que inducen el aumento o disminución de las personas en el espacio, ordenan el desarrollo de la simulación y su evolución, sirviendo también como una forma de establecer la duración total de la simulación.

Para desarrollar la construcción de la simulación de control es necesario también tomar la información ya levantada del caso de estudio en el Capítulo Tercero de esta investigación, así el desarrollo de la simulación de control se desarrollarla en todo el proyecto al unisonó, sin embargo, el análisis tratado más adelante se desarrollará de la misma forma que se desarrolló el análisis de las observaciones de campo en el punto 5.4, con el objetivo de mantener una concordancia entre ambos análisis.

Ahora bien, la secuencia lógica para la construcción de esta simulación es la misma planteada en el punto 4.4, donde en principio es necesario identificar los obstáculos translucidos y los obstáculos



Figura 90: Línea del Tiempo de la Visita de campo con los eventos que influyen el aumento o disminución de la población, utilizada como insumo para construir la simulación de control, Fuente: *Elaboración Propia.*



opacos en el espacio, dado los requerimientos del programa, no es necesario modelar los ventanales que están emplazados en los muros de la terminal como obstáculos translucidos ya que por su disposición no afectan la conciencia situacional de los peatones simulados, otro factor a tener en consideración es que los espacios listados como excluidos de la investigación en la planta del proyecto mencionados en el punto 5.2, no serán modelados para la construcción de la simulación, sin embargo todos los obstáculos presentes en el espacio ya sea mobiliario u otros elementos tales como la escalera central, serán calificados como obstáculos traslucidos.

Respecto de los puntos de interés presentes en el espacio se mantendrán los puntos ya levantados en el punto 5.2, donde sin embargo para fines de la simulación, los baños del primer nivel se considerarán como salas (esto relativo a las herramientas presentes en el programa de simulación explicado en el punto 4.4), también los puntos de control que consideren la espera, estarán configurados para generar una fila con una capacidad limitada a cuatro plazas, con el fin de evaluar la capacidad de los peatones simulados, de imitar, tanto fenómenos autoorganizativos como en específico el fenómeno de las filas presentado en el capítulo Primero de esta investigación, pero también evidenciado en el análisis de las observaciones de campo.

Respecto de los perfiles de personas, se considerarán las probabilidad, capacidades e intereses establecidos en el punto 5.3 de esta investigación, donde por lo tanto no es necesario entrar en profundidad.

Finalmente, en el proceso de construcción de la simulación de control es relevante acotar que dada la información requerida para el análisis e interpretación de la simulación, los elementos "post-simulación" a utilizar serán los mapas de calor, los mapas de velocidad, el trazado de las rutas y la tabulación del conteo de visitas, datos que sirven para identificar como el espacio esta interactuando con los flujos peatonales y controlar el desarrollo correcto de la simulación en función de los establecido en las observaciones de campó, pudiendo así evaluar el comportamiento del programa y su nivel de certeza a la hora de actuar como una herramienta analítico predictiva.

## 6.1.2.- *Análisis de la Simulación de Control.*

Para desarrollar este análisis primero es necesario mencionar que a pesar de que la simulación de control ha sido desarrollada en todo el proyecto al unisonó, para lograr un análisis coherente y detallado este se desarrollara separadamente para cada espacio principal del proyecto en la misma secuencia que se desarrolló el análisis de las observaciones de campo.

- **1.-** Análisis de la simulación de control enfocado al hall central de la terminal de pasajeros del aeródromo Pichoy, sobre la base de lo establecido en el punto anterior y de la simulación construida, se observa que en el desarrollo de la simulación de control, en un principio esta guarda cierta similitud con los comportamientos observados respecto del ingreso de los pasajeros a la terminal, la manera en la que navegan a través del espacio y el trazado de rutas para sortear los obstáculos establecidos, de éste modo se nota también que la distribución de uso de los espacios de espera coincide con lo observado en la visita de campo, sin embargo, la primera discrepancia observada, es el desarrollo de patrones de espera erráticos, en otras palabras, peatones simulados que estando a la espera de que su punto de interés esté disponible, se mantienen en movimiento permanente, a lo largo de la planta de la terminal, lo que se contradice con lo observado en la visita de campo, donde este mismo tipo de peatones tendían a mantenerse quietos cerca de los obstáculos de la terminal, sin embargo la cantidad de peatones afectados por esta dinámica errática es entre el 5% y el %10 de la población total de la simulación donde la explicación más lógica a este comportamiento es, que en el entorno de la simulación al estar bloqueado el punto de interés y teniendo un campo de visión limitado, los peatones recorren la terminal buscando una salida que los conduzca al punto de control o interés que requieren para completar su recorrido, más allá de esta eventualidad técnica y mediante el avance del desarrollo de la simulación se empieza a manifestar las filas descritas el análisis de las observaciones de campo, tanto en los puntos de check in de la aerolínea A, como el punto de entrada a la sala de embarque, en este caso la autoorganización de los peatones parece ser coherente con la lógica de las multitudes reales, ya que tienden a generar una fila relativamente ordenada guardando relación con el comportamiento social



Figura 91: Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 12:15 (Ts+015 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.

- 1.- Baño Discapacitados.
- 2.- Baño Mujeres.
- 3.- Baño Hombres.
- 4.- Tienda A.
- 5.- Tienda B.
- 6.- Info. Turística.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.
- 10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 13.- Check In Aerolínea C.
- 14.- Info. General.
- 15.- Rent a Car.



Salida Sala de Llegadas

Acceso / Salida Norte

Acceso / Salida Sur

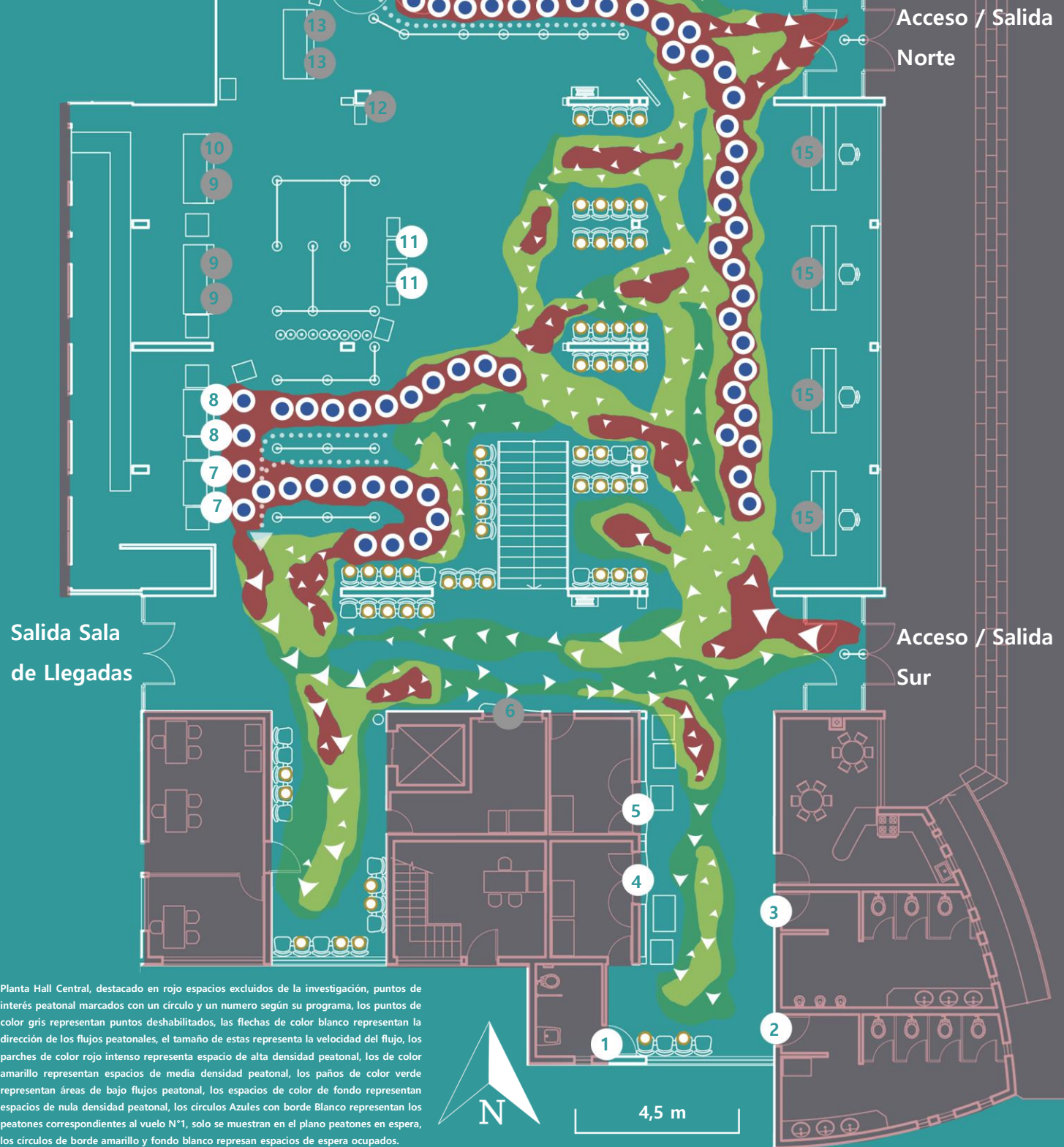
Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un número según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los paños azules representan zonas de casi nula densidad peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos de borde amarillo y fondo blanco represan espacios de espera ocupados.



4,5 m

Figura 92: Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 12:30 (Ts+030 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos y simulación de control.

- 1.- Baño Discapacitados.
- 2.- Baño Mujeres.
- 3.- Baño Hombres.
- 4.- Tienda A.
- 5.- Tienda B.
- 6.- Info. Turística.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.
- 10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 13.- Check In Aerolínea C.
- 14.- Info. General.
- 15.- Rent a Car.



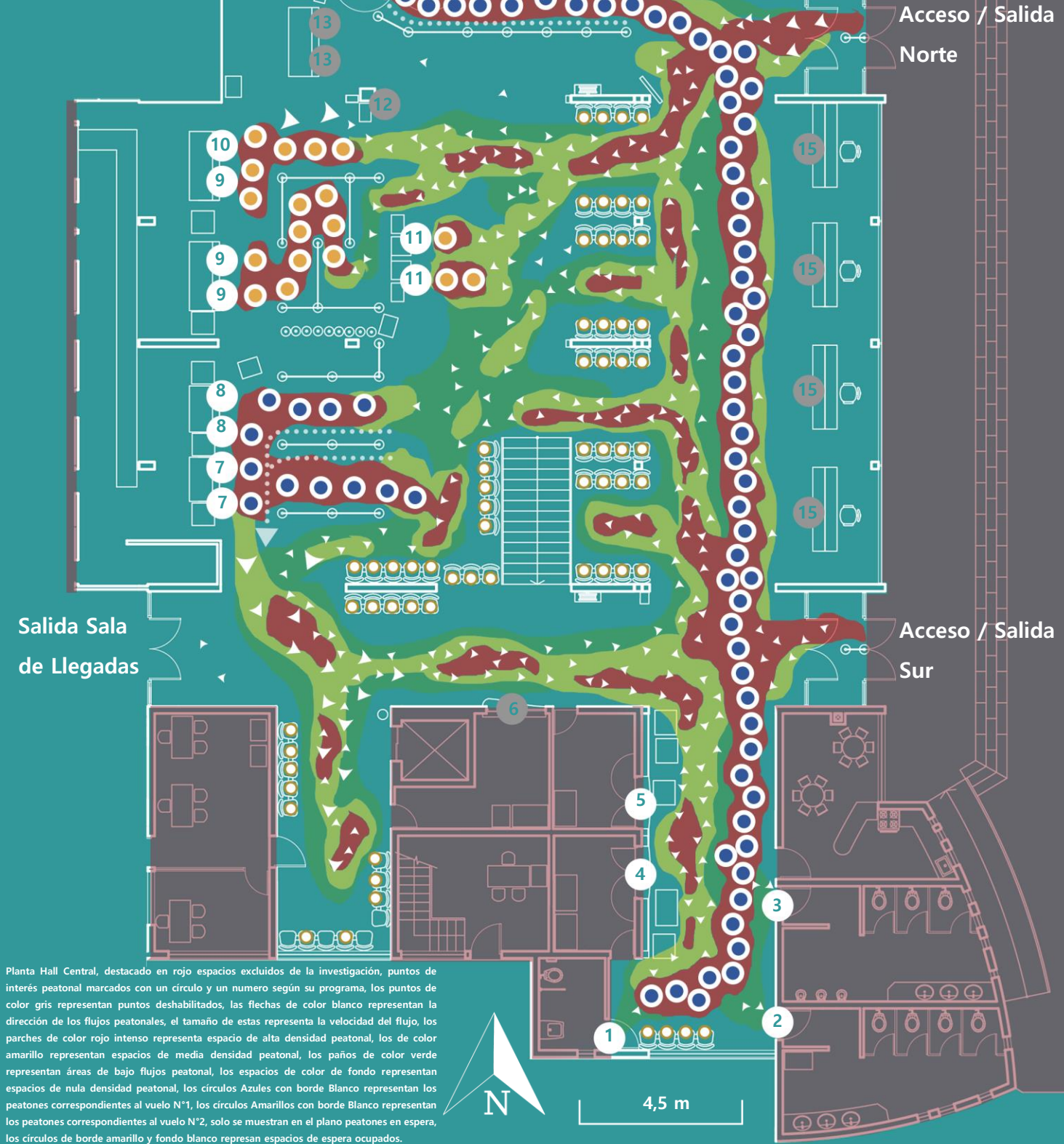
Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un número según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos de borde amarillo y fondo blanco represan espacios de espera ocupados.

humano, sin embargo, es notorio que, a diferencia de las multitudes observadas en la visita de campo, la formación de las filas tiende a ser mucho más ortogonal y ordenada, lo que a pesar de no ser una diferencia tan evidente con la realidad, podría bajo condiciones específicas afectar el comportamiento e interacción de multitudes en diferentes direcciones, siguiendo con el desarrollo de la simulación una vez inyectados los peatones desde la salida de embarque es posible ver que el comportamiento tanto en densidad como en dirección de movimiento, observado en la en la terminal real, se refleja muy bien en la simulación de control, donde la intersección de flujos peatonales opera de una manera similar a como lo hace en la realidad, sin embargo lo único que hay que acotar es que a diferencia de la realidad el distanciamiento seleccionado para los peatones entre si tiende a exagerar levemente la reducción de velocidad, esto se tomará en cuenta para calibrar los escenarios planteados posteriormente, para finalizar este análisis, llegado el último tramo de la simulación se puede observar que la aparición y comportamiento de los pasajeros del segundo vuelo, se manifiesta de una manera similar a lo desarrollado en la realidad, discrepando únicamente en la formación de filas las que también tienden a ser un tanto ortogonales y no tan orgánicas como lo que se observó en la visita de campo, para finalizar el análisis de este espacio, es importante recalcar, que el nivel predictivo de la herramienta es bastante bueno, logrado reproducir fenómenos autoorganizativos complejos, relativamente bien, además de lograr un comportamiento de intercesión de flujos peatonales cercano a lo observable en la realidad, sin embargo también se presentaron para este espacio problemas relativos a peatones que se suponían debían mantenerse detenidos, los cuales circularon por el espacio de manera errática hasta que su punto de interés fue accesible, lo que puede distorsionar los resultados de la simulación levemente, así tomando todo lo anterior en consideración, se puede establecer que la herramienta de simulación peatonal seleccionada logro para este espacio del proyecto predecir el comportamiento peatonal con un 82% de certeza respecto de los observado en la visita de campo y lo descrito en la literatura respecto de flujos peatonales.



Figura 93: Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:00 (Ts+060 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos y simulación de control.

- 1.- Baño Discapacitados.
- 2.- Baño Mujeres.
- 3.- Baño Hombres.
- 4.- Tienda A.
- 5.- Tienda B.
- 6.- Info. Turística.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.
- 10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 13.- Check In Aerolínea C.
- 14.- Info. General.
- 15.- Rent a Car.



Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, los círculos Amarillos con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°2, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos de borde amarillo y fondo blanco represan espacios de espera ocupados.



Figura 94: Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:45 (Ts+105 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.

- 1.- Baño Discapacitados.      10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 2.- Baño Mujeres.            11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 3.- Baño Hombres.          12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 4.- Tienda A.                    13.- Check In Aerolínea C.
- 5.- Tienda B.                    14.- Info. General.
- 6.- Info. Turística.            15.- Rent a Car.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.



Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un número según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color púrpura reasentan espacios de extrema densidad los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, los círculos Amarillos con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°2, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos de borde amarillo y fondo blanco represan espacios de espera ocupados.



Figura 95: Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 14:10 (Ts+135 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.

- 1.- Baño Discapacitados.      10.- Check In Aerolínea B VIP.
- 2.- Baño Mujeres.            11.- Fast Check In Aerolínea B.
- 3.- Baño Hombres.          12.- Fast Check In Aerolínea C.
- 4.- Tienda A.                    13.- Check In Aerolínea C.
- 5.- Tienda B.                    14.- Info. General.
- 6.- Info. Turística.            15.- Rent a Car.
- 7.- Check In Aerolínea A.
- 8.- Check In Aerolínea A VIP.
- 9.- Check In Aerolínea B.



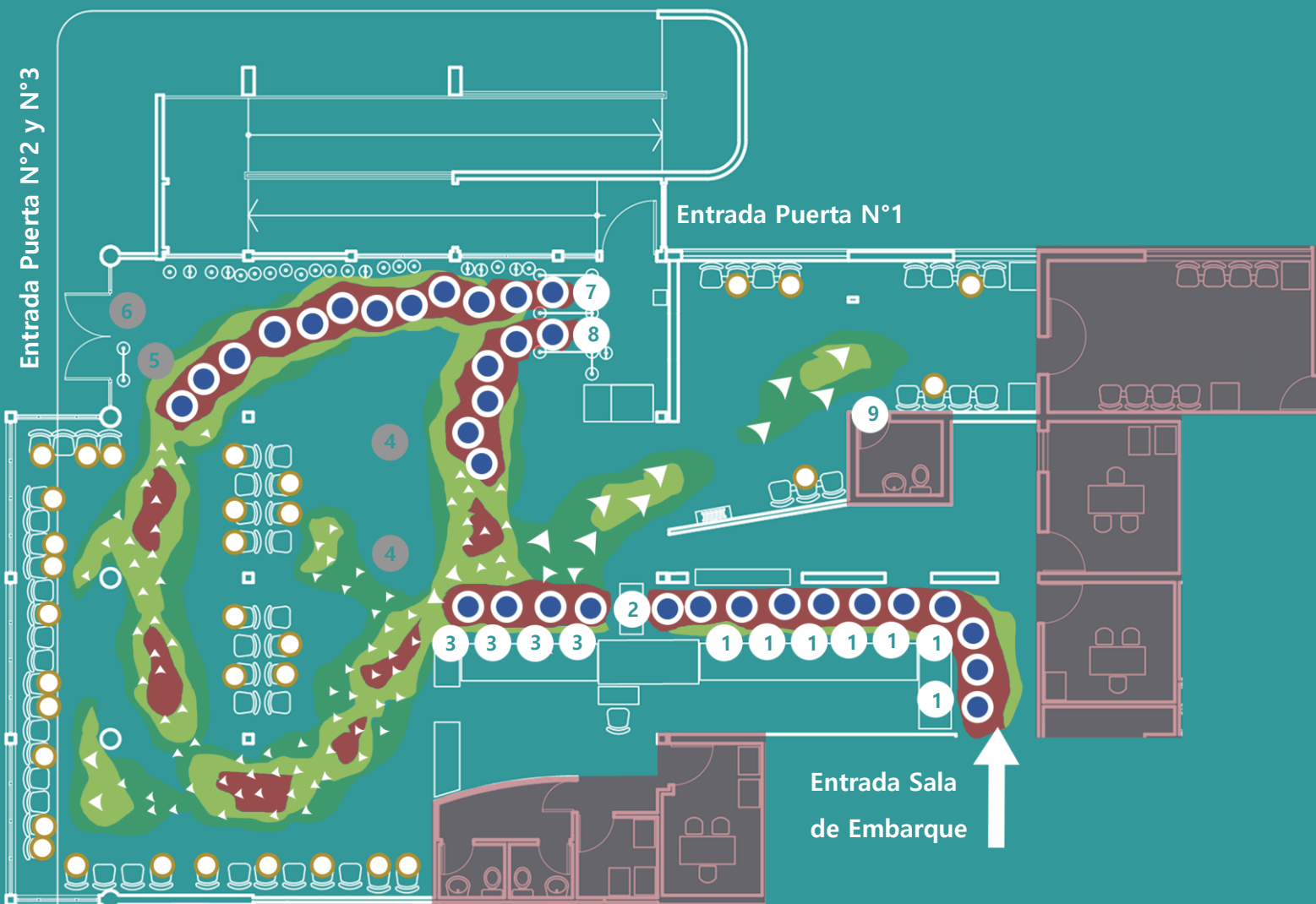
Planta Hall Central, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un número según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, los círculos Amarillos con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°2, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos de borde amarillo y fondo blanco represan espacios de espera ocupados.



- **2.-** Análisis de la simulación de control enfocado a la sala de embarque de la terminal de pasajeros del aeródromo Pichoy, según lo desarrollado en la simulación de control es posible observar para este espacio, que al comienzo de la simulación existe una manifestación de congestión previo al punto de control de seguridad, lo que se condice con la visita de campo, sin embargo tal como se mencionó previamente la formación de filas tiende a ser más ortogonal, de lo que se manifiesta en multitudes reales, sin embargo en este lugar en particular es mucho menos notorio ya que el espacio tiende a ser más estrecho, siguiendo en el desarrollo de la simulación una vez pasado el punto de control los peatones tienden a tomar los espacios de espera distribuidos hacia el poniente de la sala de embarque mientras que otro grupo considerable se forma en las filas de la puerta número 1, esto coincide con lo observado en el primer tramo del análisis de campo de la sala de embarque, donde se logra una ocupación similar del espacio, además en esta simulación no se manifiestan casi los patrones de espera erráticos vistos anteriormente, siguiendo con la simulación la inyección nuevas personas al espacio y las integración del control de identidad como un punto de interés, genera aglomeraciones en el centro del espacio causando congestión en general, esto se condice con lo apreciado en la terminal real, donde en este punto también existe un aumento de las filas para el acceso de la puerta de embarque número 1, en el tramo final de la simulación se observa una disminución de la congestión en un patrón similar al evidenciado en la sala de embarque real, donde los peatones simulados en general desocupan los puntos de espera del espacio, formándose en la fila hasta que la población de esta sala disminuye a cero terminando la simulación, para finalizar el análisis de este espacio es importante mencionar que las capacidades predictivas del software se condicen en mayor medida con lo observado en la realidad, teniendo leves discrepancias en la formación de filas tendiendo a ser un poco más largas que lo observado en la visita de campo, sin embargo a diferencia del espacio anteriormente señalado la manifestación de peatones erráticos fue casi nula, donde en general el comportamiento peatonal generado por la simulación es coherente con la contraparte real, lo que permite concluir que el nivel predictivo de la herramienta es de un 89% en este espacio de la terminal respecto de lo observado en la visita de campo y de lo descrito por la literatura respecto del comportamiento peatonal.

Figura 96: Planta sala de embarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 12:35 (Ts+035 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.

- 1.- Drop Off Rayos X, punto de Seguridad.
- 2.- Detector de Metales.
- 3.- Drop In Rayos X, punto de Seguridad.
- 4.- Control de Identidad / Tarjeta de Emb.
- 5.- Fila de embarque Puertas N°2 y N°3.
- 6.- Fila de embarque prioritario Puertas N°2 y N°3.
- 7.- Fila de embarque Puertas N°1.
- 8.- Fila de embarque prioritario Puertas N°1.
- 9.- Baño Discapacitados



Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos de borde amarillo y fondo blanco represan espacios de espera ocupados.

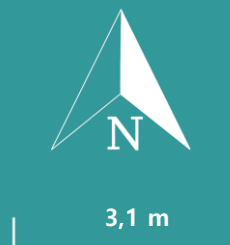
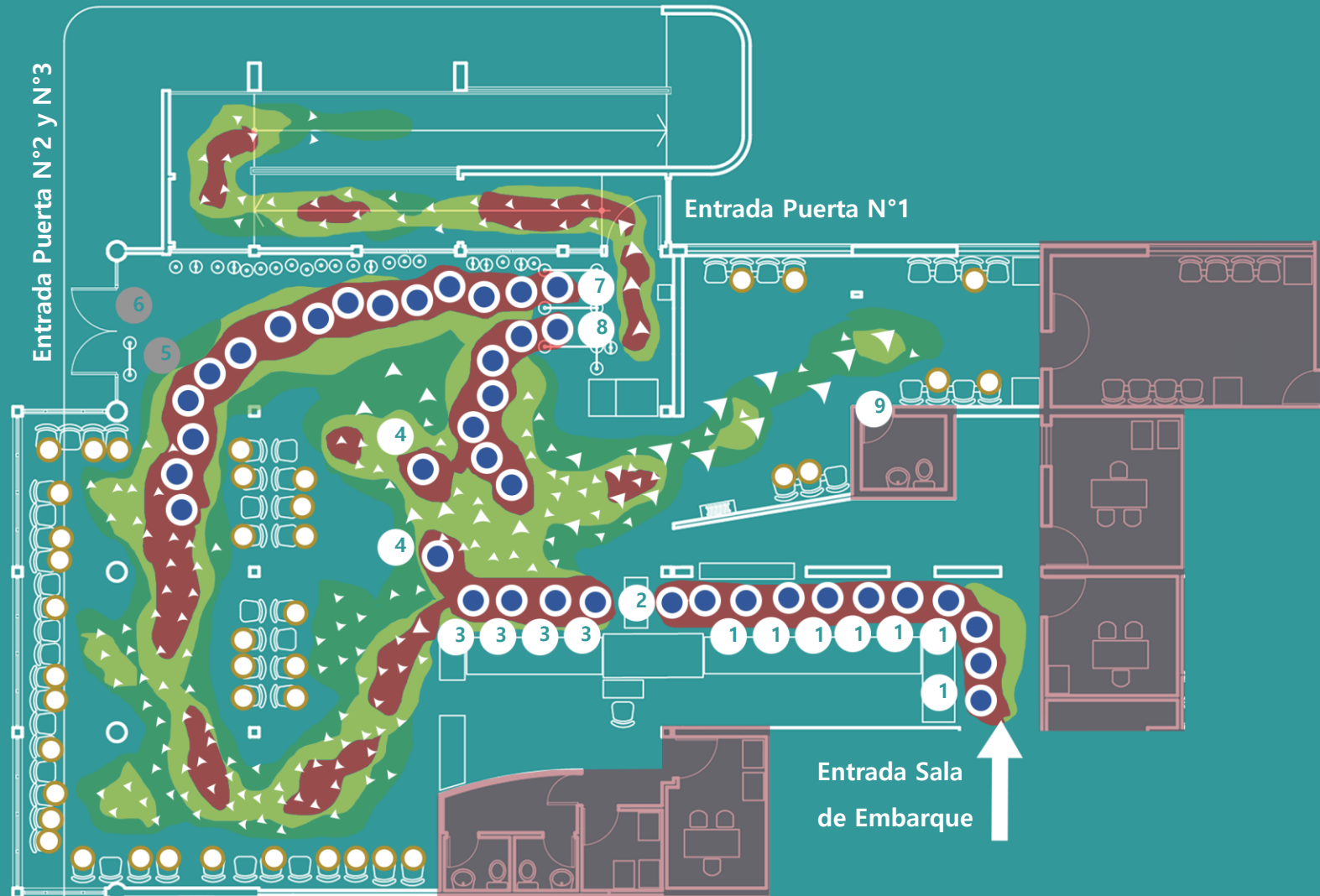


Figura 97: Planta sala de embarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:10 (Ts+070 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.

- 1.- Drop Off Rayos X, punto de Seguridad.
- 2.- Detector de Metales.
- 3.- Drop In Rayos X, punto de Seguridad.
- 4.- Control de Identidad / Tarjeta de Emb.
- 5.- Fila de embarque Puertas N°2 y N°3.
- 6.- Fila de embarque prioritario Puertas N°2 y N°3.
- 7.- Fila de embarque Puertas N°1.
- 8.- Fila de embarque prioritario Puertas N°1.
- 9.- Baño Discapacitados



Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos de borde amarillo y fondo blanco represan espacios de espera ocupados.

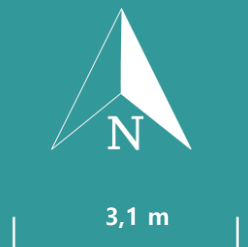
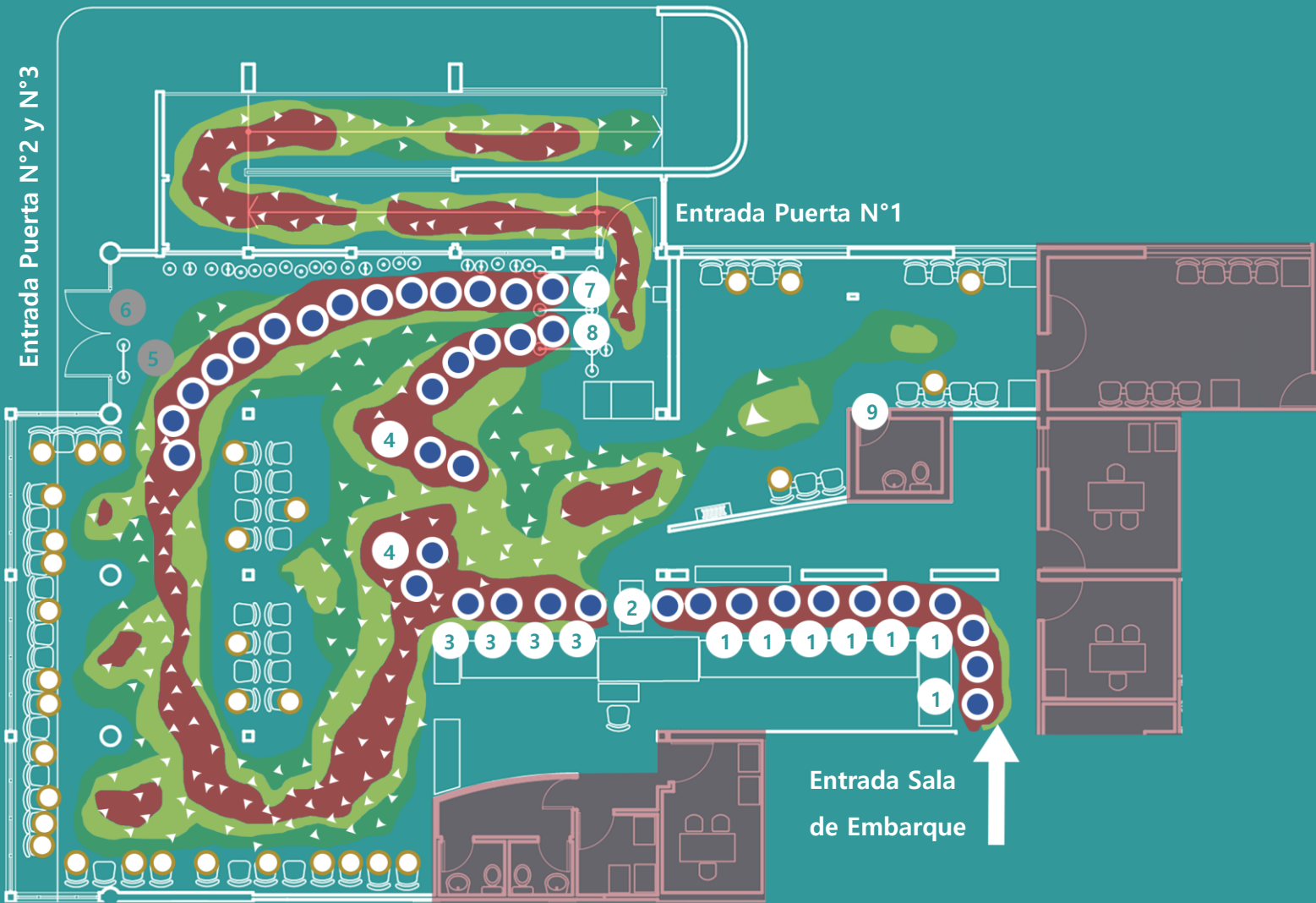


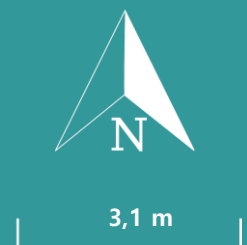


Figura 98: Planta sala de embarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:50 (Ts+110 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.

- 1.- Drop Off Rayos X, punto de Seguridad.
- 2.- Detector de Metales.
- 3.- Drop In Rayos X, punto de Seguridad.
- 4.- Control de Identidad / Tarjeta de Emb.
- 5.- Fila de embarque Puertas N°2 y N°3.
- 6.- Fila de embarque prioritario Puertas N°2 y N°3.
- 7.- Fila de embarque Puertas N°1.
- 8.- Fila de embarque prioritario Puertas N°1.
- 9.- Baño Discapacitados



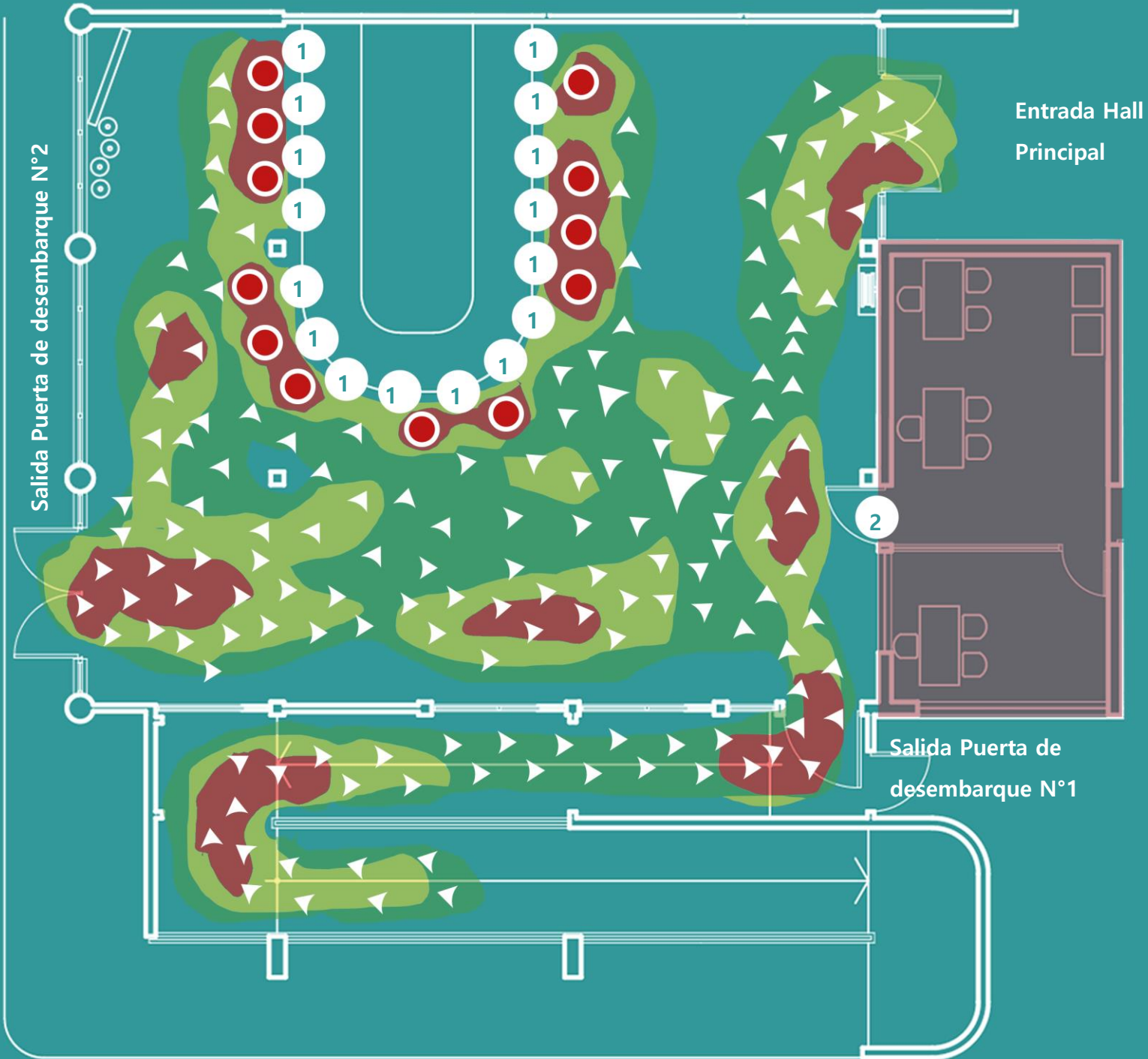
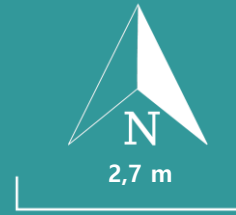
Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, los puntos de color gris representan puntos deshabilitados, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Azules con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera, los círculos de borde amarillo y fondo blanco represan espacios de espera ocupados.



- **3.-** Análisis de la simulación de control de la sala de llegadas de la terminal de pasajeros del aeródromo Pichoy, según lo desarrollado en la simulación de control, para esta sala al inicio de simulación, las dinámicas peatonales guardan una estrecha relación con lo observado en la realidad, refrentando coherentemente la densidad y distribución del flujo peatonal, mediante avanza el primer tramo de la simulación se evidencia una relación coherente con lo establecido en las observaciones de campo, también es observable que la distribución de peatones simulados en la planta del espacio cuadra con lo evidenciado en la realidad, también es posible observar que las disposición de los peatones simulados en torno a la cinta de recepción de equipajes cuadra parcialmente con lo establecido en las observaciones de campo, sin embargo, en este primer tramo de la simulación hay dos discrepancias leves, las cuales son, que los peatones tienen a exagerar la reducción de velocidad, lo que exagera levemente la congestión, esto debido a una leve des calibración del distanciamiento base establecido para los peatones simulados el cual será corregido en los escenarios de simulación siguientes, también la segunda discrepancia observada en esta etapa de la simulación de control, radica en la manera que los peatones se agrupan en torno a la cinta de recepción de equipajes la cual es levemente menos densa de lo que se observó en la realidad, debido aparentemente al distanciamiento pre seleccionado para los peatones, más allá de esto en el segundo tramo de la simulación se evidencia notoriamente la formación de los cuellos de botella descritos en las observaciones de campo en una correlación de densidad y velocidad similares donde para el caso de la simulación de control se manifiesta también comportamientos relativos a los fenómenos de autoorganización planteados por la literatura para flujos peatonales en el espacio, tales como la formación de carriles, aunque de una manera poco evidente tal como en la realidad, posteriormente en el último tramo de esta simulación se puede observar una reducción de la densidad peatonal coherente con lo presentado en las observaciones de campo, por lo tanto, para finalizar el análisis de la suma ilación en esta sala fue posible observar, que los fenómenos y comportamientos identificados en las observaciones de campo se replicaron de una manera satisfactoria en esta simulación, sin embargo para este caso la manifestación de ciertas conductas derivadas de una leve descalibración del distanciamiento base, distorsionaron levemente la velocidad de los peatones en el

Figura 99: Planta sala de desembarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:35 (Ts+095 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.

- 1.- Punto de espera para la cinta de recepción de equipaje.
- 2.- Acceso sala de espera Policía.

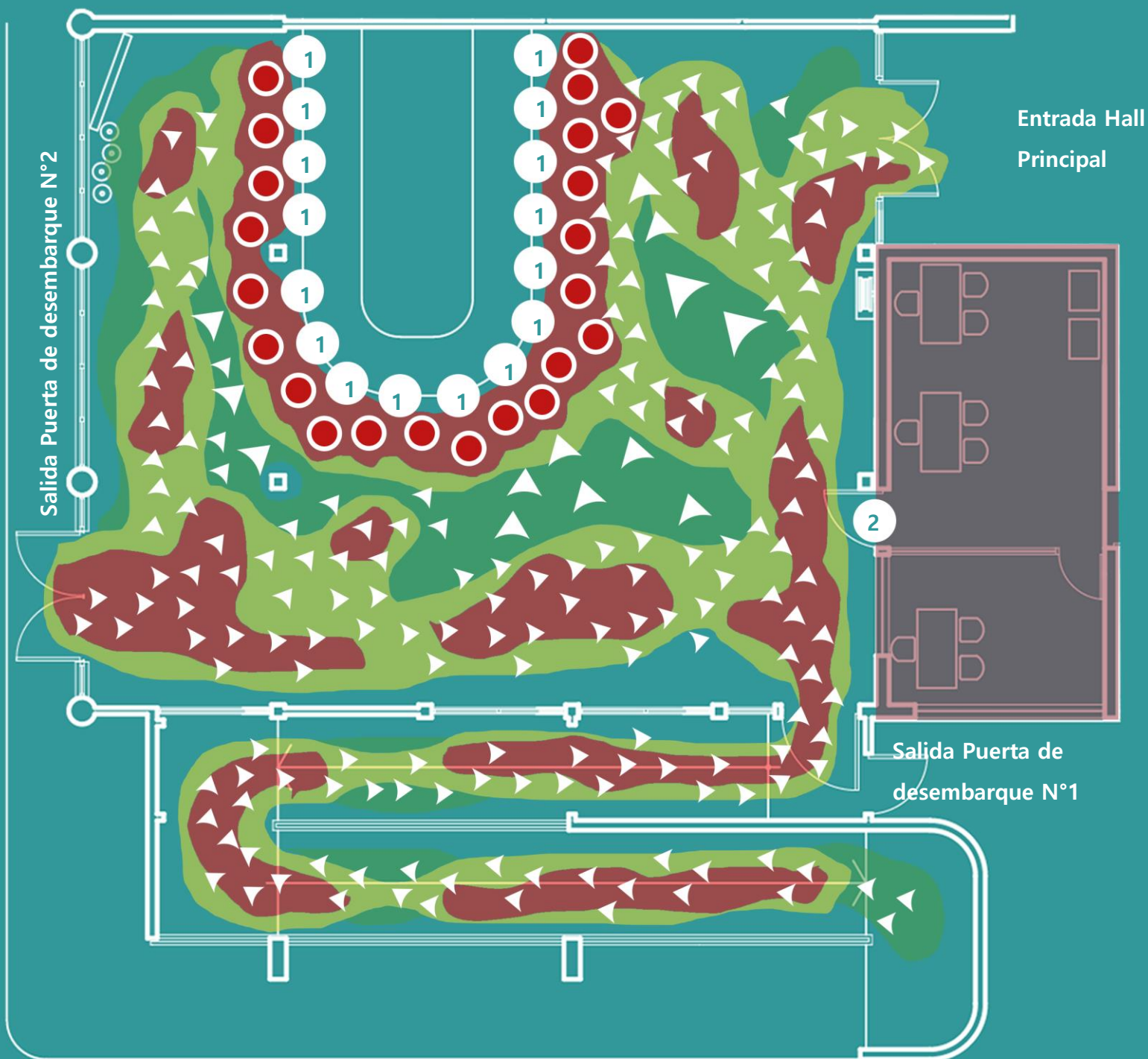
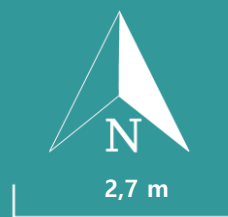


Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Rojos con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo de llegada N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera.



Figura 100: Planta sala de desembarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:40 (Ts+100 Min.), Fuente: *Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.*

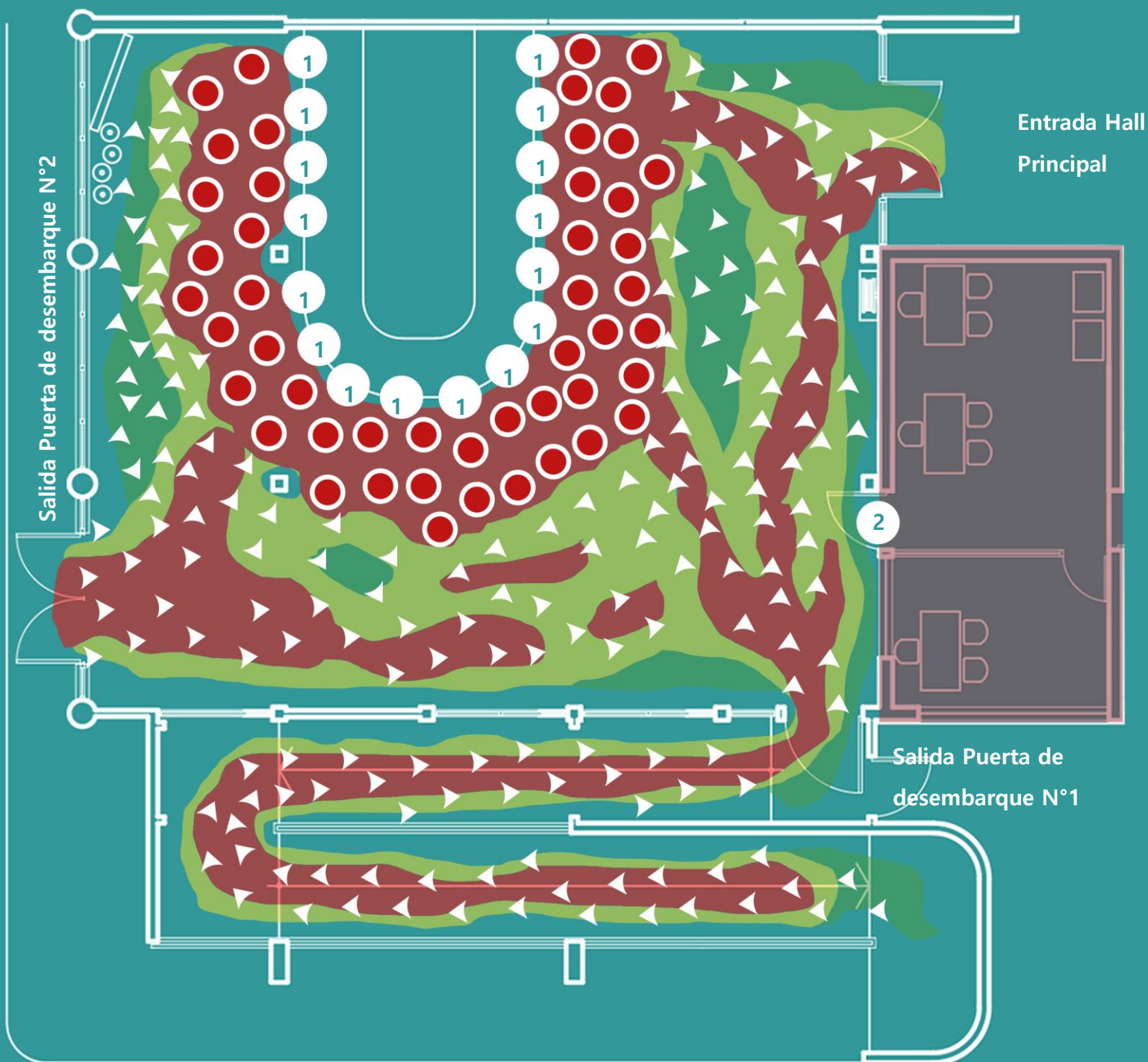
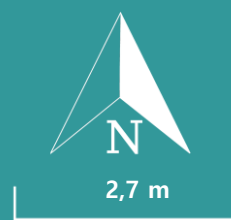
- 1.- Punto de espera para la cinta de recepción de equipaje.
- 2.- Acceso sala de espera Policía.



Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Rojos con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo de llegada N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera.

Figura 101: Planta sala de desembarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:45 (Ts+105 Min.), Fuente: Elaboración Propia, basados en planimetría entregada por DAP Los Ríos, y simulación de control.

- 1.- Punto de espera para la cinta de recepción de equipaje.
- 2.- Acceso sala de espera Policía.



Planta Sala de Embarque, destacado en rojo espacios excluidos de la investigación, puntos de interés peatonal marcados con un círculo y un numero según su programa, las flechas de color blanco representan la dirección de los flujos peatonales, el tamaño de estas representa la velocidad del flujo, los parches de color rojo intenso representa espacio de alta densidad peatonal, los de color amarillo representan espacios de media densidad peatonal, los paños de color verde representan áreas de bajo flujos peatonal, los espacios de color de fondo representan espacios de nula densidad peatonal, los círculos Rojos con borde Blanco representan los peatones correspondientes al vuelo de llegada N°1, solo se muestran en el plano peatones en espera.

espacio, además esto también provocó que el comportamiento de las personas en torno a la cinta de recepción de equipajes generara una multitud de menor densidad a lo observado en la realidad, lo que en este caso no afectó la formación de cuellos de botella y la dinámica general de los flujos peatonales, sin embargo para subsanar este problema, la configuración de distanciamiento base de los peatones simulados se altera desde los 0,75 metros a 0,5 metros, lo sé que acercaría más a lo observado en la terminal real, por lo tanto, al considerar todo lo anterior es posible concluir que para este espacio la capacidad predictiva de la herramienta logra replicar un 82% lo observado en la visita de campo y lo descrito por la literatura respecto del comportamiento peatonal.

Finalmente se puede desprender del del análisis comparativo entre las observaciones de campo y la simulación de control, que la capacidad predictiva del software de simulación seleccionado existe, mantenido un estándar relativamente alto, tomando en consideración la existencia de problemas leves, pero con una posible trascendencia en condiciones de saturación más altas, de este modo el análisis de los destinos espacio de la terminal, logro en promedio, 78,5% de correlación entre las observaciones de campo y la simulación de control estableciendo una capacidad predictiva buena, la cual es esperable que aumente a alrededor del 84% aplicando las correcciones establecidas en las distintas etapas del análisis.



## 6.2.- Planteamiento de los Escenarios de Análisis.

Habiendo presentado y analizado la simulación de control es necesario plantear una serie de escenarios basados en circunstancias de saturación, de este modo estos escenarios permitirían evaluar el comportamiento de los flujos peatonales y su relación con el espacio en distintas condiciones de saturación exponiendo eventualidades que puedan afectar las dinámicas de los peatones junto con evaluar el comportamiento del software de simulación, siendo también necesario recalcar que esta secuencia de análisis permitirá establecer ciertos criterios para un desarrollo metodológico futuro de los procesos de simulación peatonal como herramienta de diseño.

Ahora bien, este análisis se desarrollará en base a tres escenarios los que estarán en función de la saturación del espacio ya que de este modo sería posible evaluar cómo el software de simulación es capaz de entregar la información requerida para diseñar en distintas circunstancias de análisis, así el primer escenario planteado es uno de baja saturación, donde el lapsus de tiempo que este escenario contempla es de 120 minutos, donde el único evento es la llegada y salida de un vuelo, sin vuelos precedentes o posteriores, este ejemplo se desarrolla con el fin de evaluar el sobre dimensionamiento de ciertos espacios de la terminal particularmente enfocado a la sala de embarque y espacios residuales del hall central, de este modo también se espera que el programa de simulación entregue información relativa a los espacios en desuso que pueden no haber sido detectados en el análisis del proyecto, también se pretende con este escenario, evaluar la capacidad de los peatones simulados de generar fenómenos autoorganizativos tales como filas o esperas.

El segundo escenario de análisis plantea una situación de alta saturación donde la duración de esta simulación es de 180 minutos, en este caso se producirá la llegada de dos vuelos espaciada en 5 minutos con un desembarque en paralelo y un embarque también en paralelo, sucedidos estos dos eventos por el arribo de un tercer vuelo 60 minutos después, este escenario se desarrolla con el objetivo de analizar los puntos de congestión de la terminal detectados en las observaciones de campo, además dadas las condiciones particulares de esta prueba, se espera que la simulación y por ende los peatones

Figura 102: Línea del Tiempo planteada del Escenario I con los eventos que influyen el aumento o disminución de la población, utilizada como insumo para construir la simulación del Escenario I. Fuente: *Elaboración Propia.*

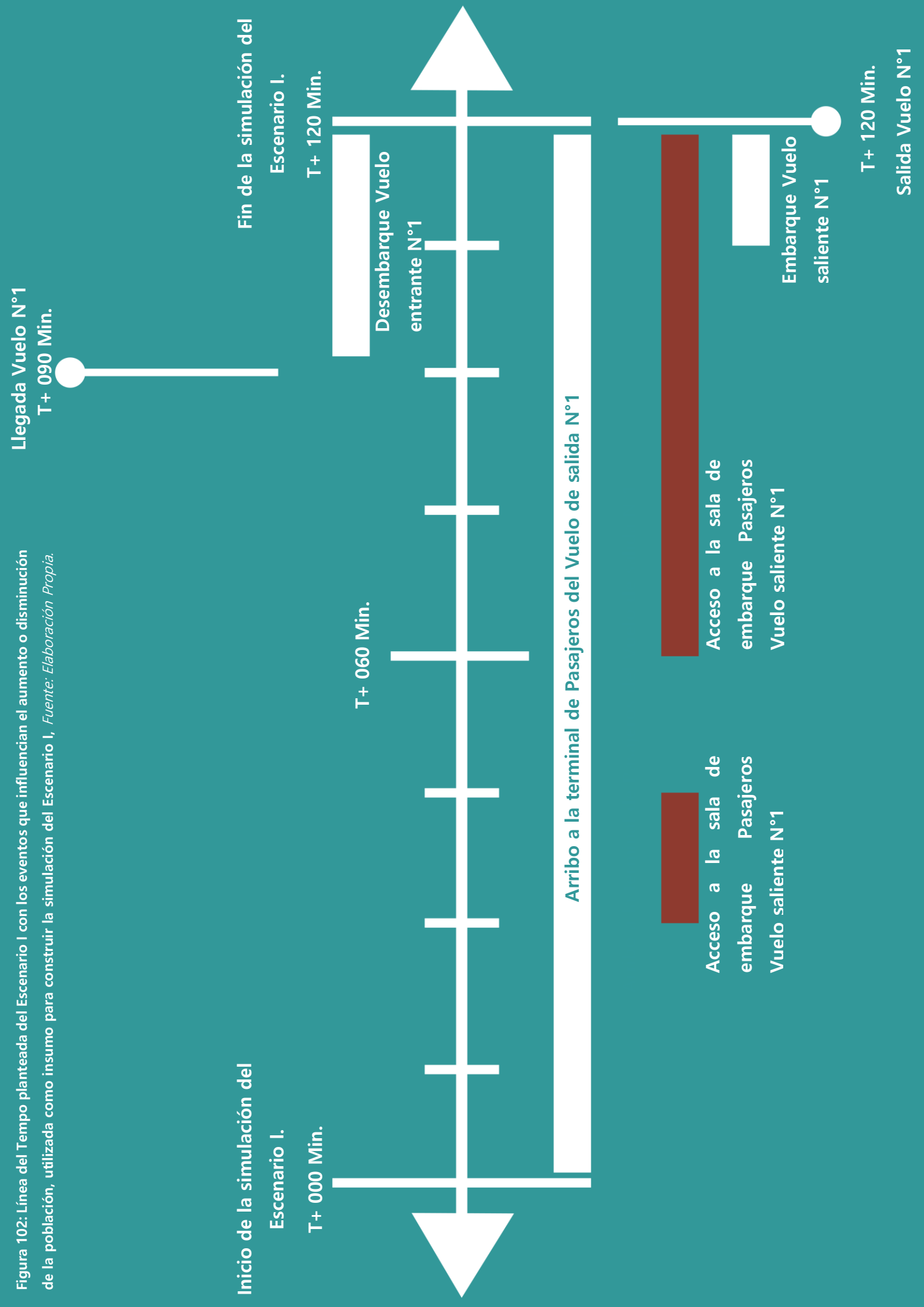
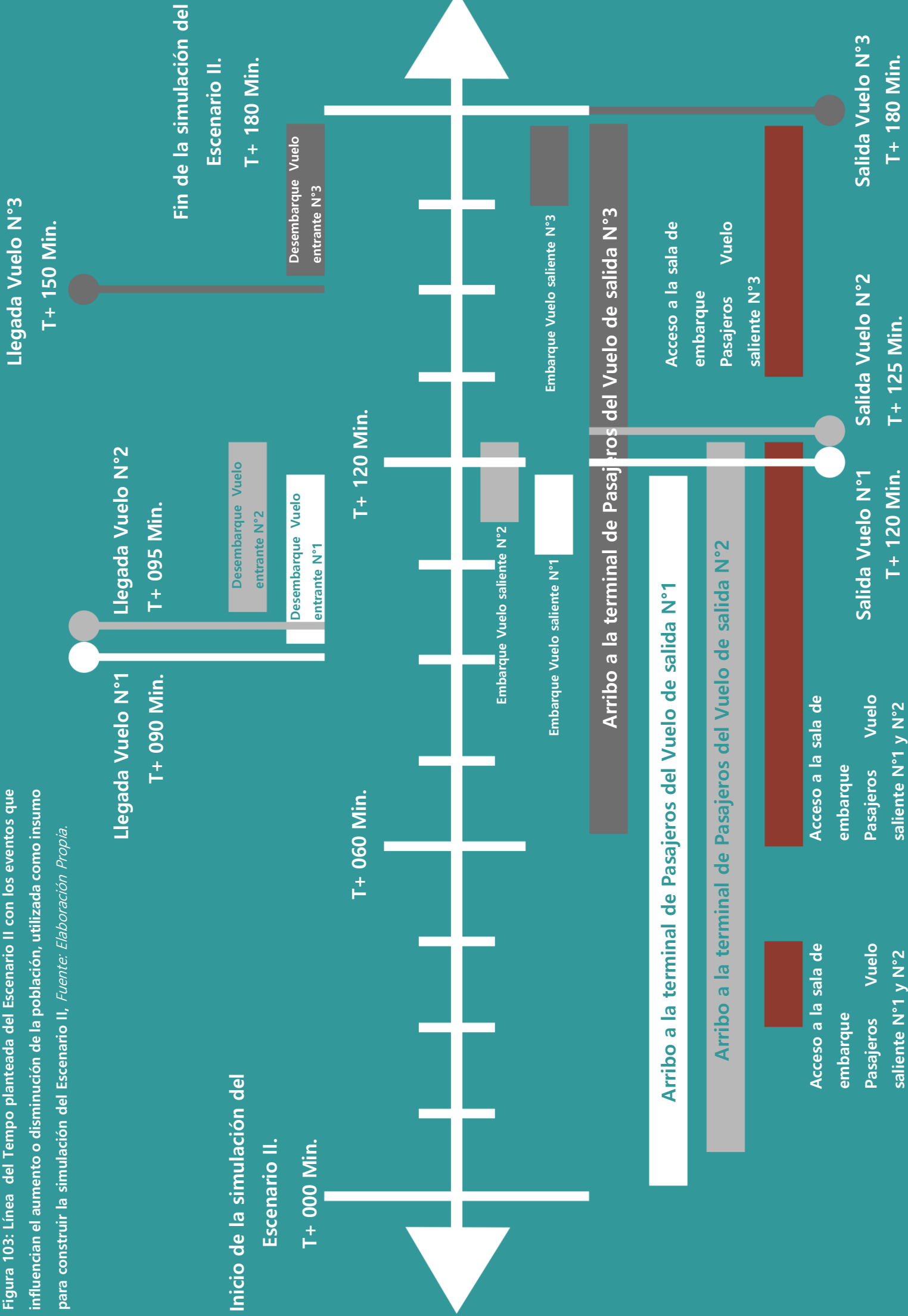


Figura 103: Línea del Tiempo planteada del Escenario II con los eventos que influyen el aumento o disminución de la población, utilizada como insumo para construir la simulación del Escenario II, Fuente: *Elaboración Propia.*



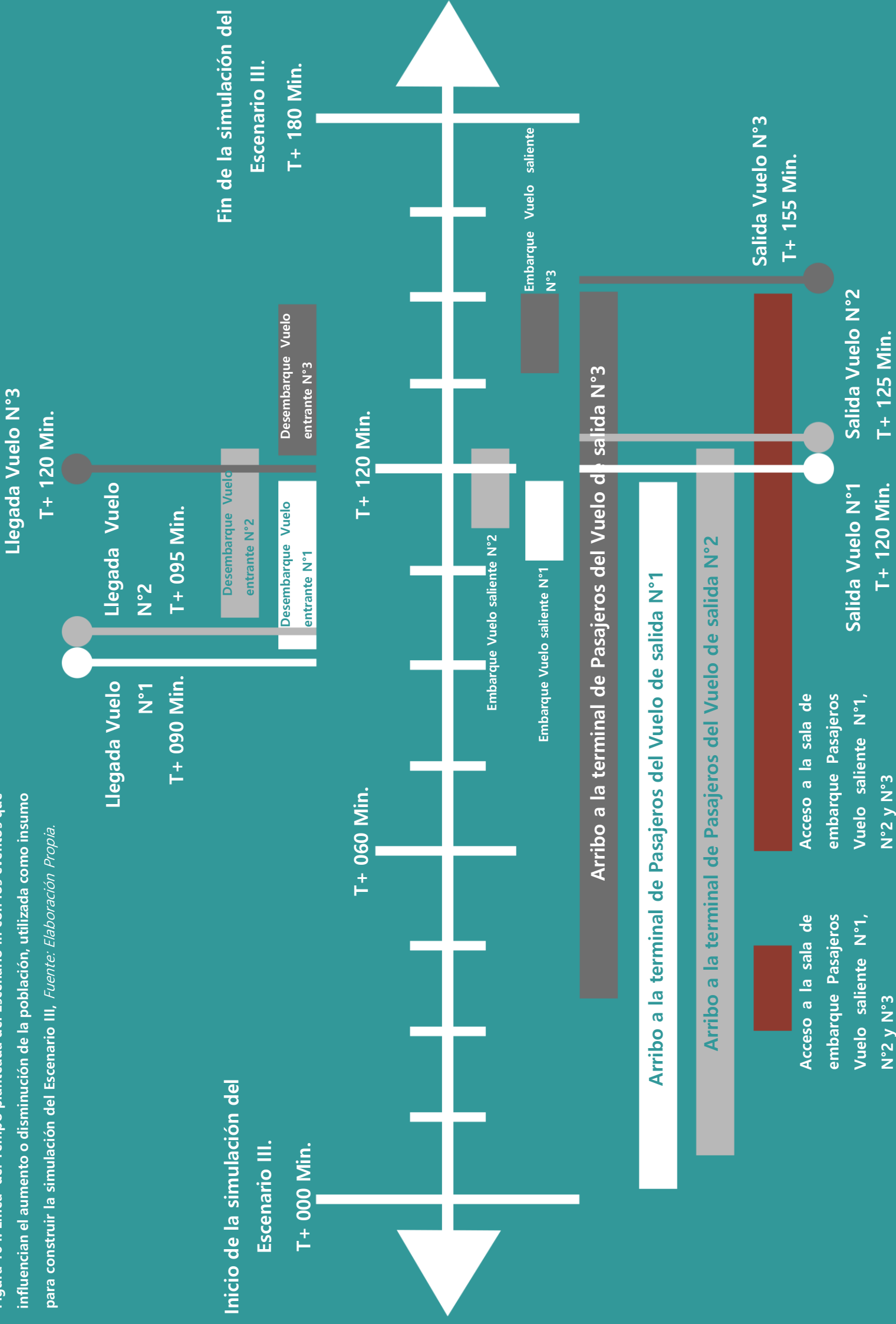


simulados reproduzcan comportamientos descritos en el capítulo primero de esta investigación derivados de circunstancias de alta saturación, logrando comportarse lo más cercano posible a multitudes reales sobre todo en condiciones de intersección de distintos flujos de personas y la formación de cuellos de botella.

Por último, el tercer escenario de análisis plantea una situación de extrema saturación, de por ende se plantea para este caso en el arribo de tres vuelos espacios en 5 minutos, con desembarque en paralelo y un doble embarque paralelo, junto con el embarque del tercer vuelo 30 minutos después de la finalización del embarque de los dos primeros, la duración de esta simulación será de 180 minutos, teniendo esta por objetivo entender los límites que posee la terminal y su espacio en circunstancias de una saturación anormalmente extrema y como el software de simulación entregaría la información durante un estado de carga, evaluando la fiabilidad y estabilidad del software mientras que mantiene una representación suficientemente coherente con los fenómenos peatonales ya descritos.

Es necesario acotar que se considera la simulación de control como un escenario de media saturación lo que naturalmente induce a no realizar una simulación de estas características durante esta etapa.

Figura 104: Línea del Tiempo planteada del Escenario III con los eventos que influyen el aumento o disminución de la población, utilizada como insumo para construir la simulación del Escenario III, Fuente: *Elaboración Propia.*



## 6.3.- Aplicación de los Escenarios de Análisis.

Una vez planteados los escenarios de análisis peatonal que se aplicarán a partir de este punto, es necesario mencionar que la construcción de estos es idéntica a la establecida para la simulación de control, por lo tanto no es necesario profundizar en este punto, lo único relevante es, la calibración del distanciamiento con el fin de eliminar discrepancias encontradas en el desarrollo de la simulación de control, además es necesario mencionar que por asuntos de efectividad el análisis de estas simulaciones se desarrollará en función del orden cronológico establecido previamente establecido sin desglosar los espacios presentados en el capítulo tercero de la investigación.

### 6.3.1.- Escenario I, Operación en condiciones de Baja densidad Peatonal.

Para comenzar la aplicación de este escenario de simulación se puede observar cómo los peatones simulados empiezan a acceder al recinto, con una tendencia a aparecer desde el acceso sur, consecuentemente estos se esparcen por el espacio de la terminal tratando de acceder al check in de la aerolínea A, generando gradualmente filas en ambos puntos de interés, paralelamente y conforme entran los peatones al espacio de la simulación un grupo se desenvuelve buscando los distintos puntos de espera mientras un porcentaje de la población de la simulación tiende a generar la fila de la sala de embarque, que con el aumento de la población dentro de la simulación empieza a crecer hasta obstruir el acceso norte y parcialmente el acceso sur al mismo tiempo una serie de peatones acceden a la sala de embarque congestionando el espacio previo al control de seguridad, donde posteriormente este mismo grupo se desperdiga tomando los puntos de interés designados como espera y conformando las filas para acceder a la puerta de embarque, en el hall de la terminal, mientras se acerca el momento del arribo del vuelo la fila de embarque mantiene parcialmente obstruida la salida sur y la cantidad de personas en las filas del check in de la aerolínea A, aumentando la densidad de los peatones particularmente en el área de espera del hall central y del espacio adyacente a las puertas de la sala de



llegadas, una vez arribado el vuelo e iniciado el desembarque los grupos de peatones emergen principalmente desde la puerta número 1 donde un porcentaje de estos se posicionan en torno a la cinta de recepción de equipajes mientras que otro grupo sale en torno al hall central interceptándose con la fila de la sala de embarque que obstruye parcialmente el acceso sur configurándose un leve cuello de botella y una reducción de la velocidad moderada en ese punto del recorrido mientras al interior de la sala de llegadas gracias al aumento de personas en torno a la cinta de recepción de equipajes se producen dos cuellos de botella al interior de esta sala reduciendo la velocidad peatonal pero manteniendo la densidad más o menos estable, finalmente el acceso de las personas a la sala de embarque reduce considerablemente la congestión en el hall central, el cual gradualmente reduce la cantidad de personas en el espacio, mientras que en la sala de embarque, el crecimiento de la fila de la puerta número 1 y la aplicación del control de identidad congestiona levemente el espacio central de la sala de embarque, la que pasado un tiempo se vacía se vacía rápidamente.

Para concluir este análisis se evidencia que, al poseer un evento menos respecto de la simulación de control, este escenario se ve sometido a menos carga, evidenciando espacios muertos en el hall central, como el espacio de espera ubicado adyacente a la puerta de salidas de la sala de llegadas, el espacio que conduce a la sala de baños y el pasillo que da acceso a la zona norte de la terminal, también se aprecian estos espacios en la zona oriente de la sala de embarque, donde los peatones simulados no transitaban por estos, a pesar de mantener una serie de puntos de interés, como respecto del software, este fue capaz de representar fenómenos auto organizativos e interacciones entre peatones simulados de una manera satisfactoria corrigiendo las leves discrepancias en el distanciamiento, manteniendo una reducción de velocidad más adecuada y una densidad menos exagerada, sin embargo en esta simulación se volvió a manifestar el asunto relativo a los peatones erráticos, los cuales a pesar de que deberían estar detenidos, en espera, estos se mantienen en movimiento, donde para este caso el problema afectó entre el 5 y el 8% de la población de la simulación, ubicada en el hall principal y entre un 1 y 3% de la población ubicada en la sala de embarque.

## 6.3.2.- Escenario II, Operación en condiciones de Alta densidad Peatonal.

Para comenzar la aplicación del escenario de alta saturación es necesario mencionar que en el desarrollo de la simulación, al inicio la cantidad de peatones que arriban simultáneamente es mucho más alta que la alcanzada en la simulaciones anteriores por lo tanto la congestión en el espacio se empieza a magnificar mientras se desarrollan las filas del check in de la aerolínea A y del check in de la aerolínea B, esto junto a la generación mucho más rápida de la fila de la sala de embarque, produce que el espacio de la terminal se vea completamente segmentado, formando intersecciones de los peatones en movimiento que acceden por la entrada sur al hall central gracias a la fila de la sala de embarque, donde estos reducen drásticamente su velocidad e incluso se pueden llegar a detener de golpe, mientras acceder al check in de la aerolínea A o B, asimismo en el acceso de la sala de embarque se produce una congestión mayor previo al punto de control de seguridad, donde mientras las personas, van accediendo al espacio de espera destinado a la sala de embarque, esta se repleta rápidamente en su sector poniente, forzando a los peatones simulados a utilizar los puntos de espera dispuestos en el espacio oriente de la terminal cosa que en ninguna de las simulaciones precedentes se había manifestado, así también dentro del espacio de la sala de embarque se generan las filas provenientes de la puerta número 1 y de la puerta número 2 las cuales, al no poderse entrecruzar se proyectan hacia el centro del espacio de esta sala, aumentando la congestión de los peatones provenientes del control de seguridad, mientras tanto en el hall central de la terminal la fila de la sala de embarque ya ha sobre pasado ampliamente la salida sur, logrando plegarse en si misma y generara una fila paralela la que vuelve a alcanzar salida sur, a su vez, en el espacio central de la terminal se empiezan a reducir las filas de los puntos de check in de ambas aerolíneas mientras se acerca la hora del arribo de los vuelos, concentrando en la fila de la sala de embarque la mayor cantidad de personas, pero mantenido en el espacio de la terminal una cantidad considerable de personas que califican como los descritos en el punto 3.3.3 como "acompañantes", estos

tal como están configurados empiezan a salir de la terminal dado el de saturación, entrecruzándose con los primeros pasajeros entrantes del tercer vuelo los cuales comienzan a acceder a la terminal principalmente por la puerta norte, generando una fila en el espacio central para acceder al check in de la aerolínea C, esta fila se empieza a proyectar en dirección hacia la escalera limitando el espacio disponible para la espera, forzando los peatones simulados a distribuirse en los denominados anteriormente "espacios muertos" donde el movimiento de estas personas causa una serie de cuellos de botella sobre todo en el sector norte del hall central y en los espacios adyacentes a la escalera, pasados 120 minutos desde el inicio de la simulación se produce el arribo de los dos primeros vuelos los cuales al desarrollar un desembarque en paralelo inyectan a la sala de llegadas una cantidad considerable de personas desde ambas puertas de desembarque generando rápidamente un cuello de botella inducido por la geometría de la salida de la sala de llegadas, también la gran cantidad de personas que se distribuyen en torno a la cinta de recepción de equipaje hace más angosto el camino desde la puerta número 2 hacia la salida, forzando a reducir la velocidad y aumentando la densidad peatonal al interceptarse con los flujos provenientes de la puerta número 1 los cuales en proporción a la puerta número 2 están a razón de 1 es a 2, al mismo tiempo en el hall central de proyecto la fila de la sala de embarque obstruye doblemente la salida sur del hall, llevando a los peatones simulados provenientes de la sala de llegadas a reducir fuertemente su velocidad causando un efecto en cadena que obstruye el flujo peatonal deteniéndolo y forzándolo alrededor de un tercio de los peatones provenientes de la sala de llegadas, a ingresar al espacio central del hall tratando de alcanzar la salida norte, en este punto la fila de la sala de embarque se ha reducido levemente dada la proximidad de la salida de los dos primeros vuelos lo que permite un tráfico un tanto más expedito de los últimos peatones provenientes de la sala de llegadas, a estas alturas el espacio central de la terminal está poblado por peatones simulados del tercer vuelo los cuales empiezan a formarse en la fila de la sala de embarque reduciendo la cantidad de personas distribuidas en el hall central concentrándose estas en la fila de la sala de embarque, en paralelo al interior de esta sala el nivel de saturación es muy alto forzando a las filas a establecerse hacia el segmento oriental del espacio, estas filas mantienen su tamaño mientras los peatones simulados que estaban en los puntos de espera van alimentándolas gradualmente, logrando a los 125 minutos de la



simulación desocupar la sala de embarque, sin embargo 30 minutos después la llegada del tercer vuelo genera un comportamiento similar al descrito en la terminal en el último tramo del escenario de simulación anterior donde lo único destacable es que gracias a que los pasajeros y el vuelo están relacionados con la aerolínea C, la mayor cantidad de personas que acceden al recinto lo hacen por la salida norte causando un entrecruce de los flujos peatonales con las filas de la sala de llegadas donde el resto de la simulación se manifiesta idéntica a lo ya presentado en el escenario anterior.

Para concluir el análisis de este escenario, es preciso mencionar que en estas condiciones de alta saturación, en el primer tramo de la simulación las filas en el espacio causaron gran parte del efecto en cadena que impidió el tránsito expedido de los peatones provenientes de la sala de llegadas hacia la salida sur de la terminal, además el aumento de la densidad peatonal en la sala de llegadas evidenció que la geometría del espacio induce la formación de cuellos de botella y reducción de la velocidad, mientras que en la sala de embarque, las dimensiones relativamente acotadas del espacio y el posicionamiento de las puertas de embarque inducen la generación de filas desordenadas las que tienden a cortar la sala influyendo en el tráfico peatonal, además este escenario, respecto del programa de simulación, se logró generar el comportamiento esperado de los cuellos de botella, la obstrucción y taponamientos en el espacio, además de intersección de flujos peatonales y desarrollo de carriles, fenómenos y problemas descritos en la literatura presentada en el capítulo primero de una manera satisfactoria, sin embargo el desarrollo de filas y patrones de espera espontáneos se muestra más ortogonal que en las simulaciones anteriores, lo que no afectó de una manera significativa el comportamiento peatonal en este caso, así también para este escenario se pudo observar una serie de peatones erráticos, aunque en mucha menor medida respecto de las simulaciones anteriores, dado que el espacio disponible para circular y esperar era significativamente más acotado, gracias al desarrollo de las filas en el hall central y la sala de embarque.

### 6.3.3.- Escenario III, Operación en Condiciones de Extrema

#### Densidad Peatonal.

Para el caso de esta simulación que corresponde al último escenario a desarrollar en este seminario de investigación, en principio es posible acotar, que en el primer tramo de esta el comportamiento y fenómenos auto organizativos de los peatones simulados en el espacio son idénticos a la simulación anterior, sin embargo 15 minutos después del inicio de esta prueba aumenta la cantidad de personas que acceden al espacio por la puerta norte, causando congestión y reducción de la velocidad peatonal dado que la fila de la sala de embarque obstruye el acceso a estos peatones, además estos agentes están relacionados al tercer vuelo, los cuales están interesados en acceder al check in de la aerolínea C o bien distribuirse en el espacio para esperar el momento de acceder a la sala de embarque, de este modo y dado que la cantidad de personas en el espacio crece rápidamente los espacios destinados a la espera se agotan y los peatones que no se han formado en las filas de cualquiera de los puntos de check in o de acceso a la sala de embarque se manifiestan erráticos moviéndose por el espacio aunque para este caso vale mencionar que por lo menos en el hall central los peatones afectados por este comportamiento no supera el 5% de la población de la simulación, donde sin embargo estos peatones erráticos pueden llegar a causar leves distorsiones en la congestión sobre todo en los puntos de salida de la terminal, paralelamente en la sala de embarque, se empieza a utilizar el espacio de la misma manera descrita para la simulación anterior, donde la única diferencia destacable, es que a partir de los 90 minutos desde el inicio de este escenario la cantidad de personas en este espacio tuvo un leve aumento respecto de las simulaciones anteriores ya que a diferencia del escenario anterior en la sala de embarque hay pasajeros ya no de dos vuelos, sino que de tres al mismo tiempo, también alrededor de los 90 minutos desde iniciada la simulación arriban los dos primeros vuelos, los que al iniciar su proceso de desembarque saturan fuertemente la sala de llegadas de una manera muy similar a como ocurrió en la simulación anterior, sin embargo para los pasajeros emergentes de la sala de llegadas, el aumento en la

cantidad de personas en el hall central de la terminal, complica aún más la circulación forzando a estos peatones a mantener un desplazamiento de entre 0,4 y 0,9 m/s, posteriormente 15 minutos después arriba el tercer vuelo, inyectando una cantidad de alrededor de 190 personas en un lapso de 20 minutos a través de la puerta de desembarque número 2, magnificando el cuello de botella que ya se producía con las personas que esperan en la sala de llegada en torno a la cinta de recepción de equipajes, en este espacio también conspira para exacerbar la congestión, la geometría de la salida de esta sala causando también un segundo cuello de botella el cual fuerza a los peatones a desplazarse levemente más lento para tratar de salir por la puerta, sin embargo al acceder al espacio del hall central muchos peatones vinculados a los tres vuelos que salientes han accedido a la sala de embarque lo que ha liberado espacio a pesar de mantenerse la fila de la sala ya mencionada, esto permite que los peatones provenientes de la sala de llegadas puedan esparciarse por el espacio central del hall para tratar de acceder tanto a la puerta norte como a la puerta sur, sin embargo la aun presente fila de la sala de embarque sigue generando congestión en la circulación, mientras tanto al interior de la sala de embarque las filas generadas por las puertas de embarque número 1 y número 2 empiezan a plegarse en si misma causando que la parte central del espacio esté completamente limitada induciendo a los peatones a preferir los espacios de espera del ala oriental de esta sala, con el paso del tiempo las filas correspondientes a los vuelos número 1 y número 2 empiezan a disminuir, donde estas finalmente desaparecen dejando únicamente la fila del tercer vuelo que sigue la lógica descrita para la sala de embarque en el primeros escenario de simulación, paralelamente en el hall de la terminal, la desaparición de la fila de la sala de embarque asociada a la proximidad de la salida de los tres vuelos despeja el espacio del hall central permitiendo el tránsito fluido del último tercio de personas que aún permanecían en la sala de llegadas particularmente en el punto de espera de la cinta de recepción de equipaje.

Para concluir el análisis de este último escenario, es posible mencionar que respecto del estado de extrema saturación generado por la simulación, la terminal claramente por momentos alcanza un límite donde el espacio y las dinámicas peatonales empiezan a obstruir en conjunto el tráfico fluido, también se puede apreciar que siguiendo la línea del ejemplo anterior, las filas en este espacio tuvieron un impacto en la fluidez peatonal, donde sin embargo en este caso dado que había alrededor de un 30%



más de personas en el espacio, el impacto fue mucho mayor, finalmente en esta simulación se evidencian claramente los límites peatonales de la terminal la cual ya en los escenarios anteriores está fuertemente saturada y donde en este, la ocupación alcanzó puntos que van más allá de lo que se puede considerar seguro para un espacio de estas dimensiones, así es necesario acotar que los escenarios planteados a pesar de ser de carácter teórico, han sido basados en eventos de la realidad, según los registros recopilados de la información proporcionada por la DAP Los Ríos, respecto del software de simulación este logra representar los fenómenos peatonales de manera certera en una situación de carga manteniendo la estabilidad y la fiabilidad necesarias para ejecutar la simulación en el periodo establecido, sin embargo y al igual que en los ejemplos anteriores el desarrollo de las fijas más ortogonales que en la realidad y la aparición de peatones con un comportamiento errático en la espera se hizo presente en este ejemplo, lo que no quita el hecho que dado el estado de carga en general, el software seleccionado tuvo un buen desempeño.

# 7.- Capítulo V, Conclusiones y Observaciones.

7.1.- Planteamiento de las Bases para el desarrollo de una Metodología que integre la Simulación Peatonal en el Diseño con enfoque de Arquitectura.

7.2.- Observaciones Específicas Capítulos I-IV.

7.3.- Conclusiones Generales.

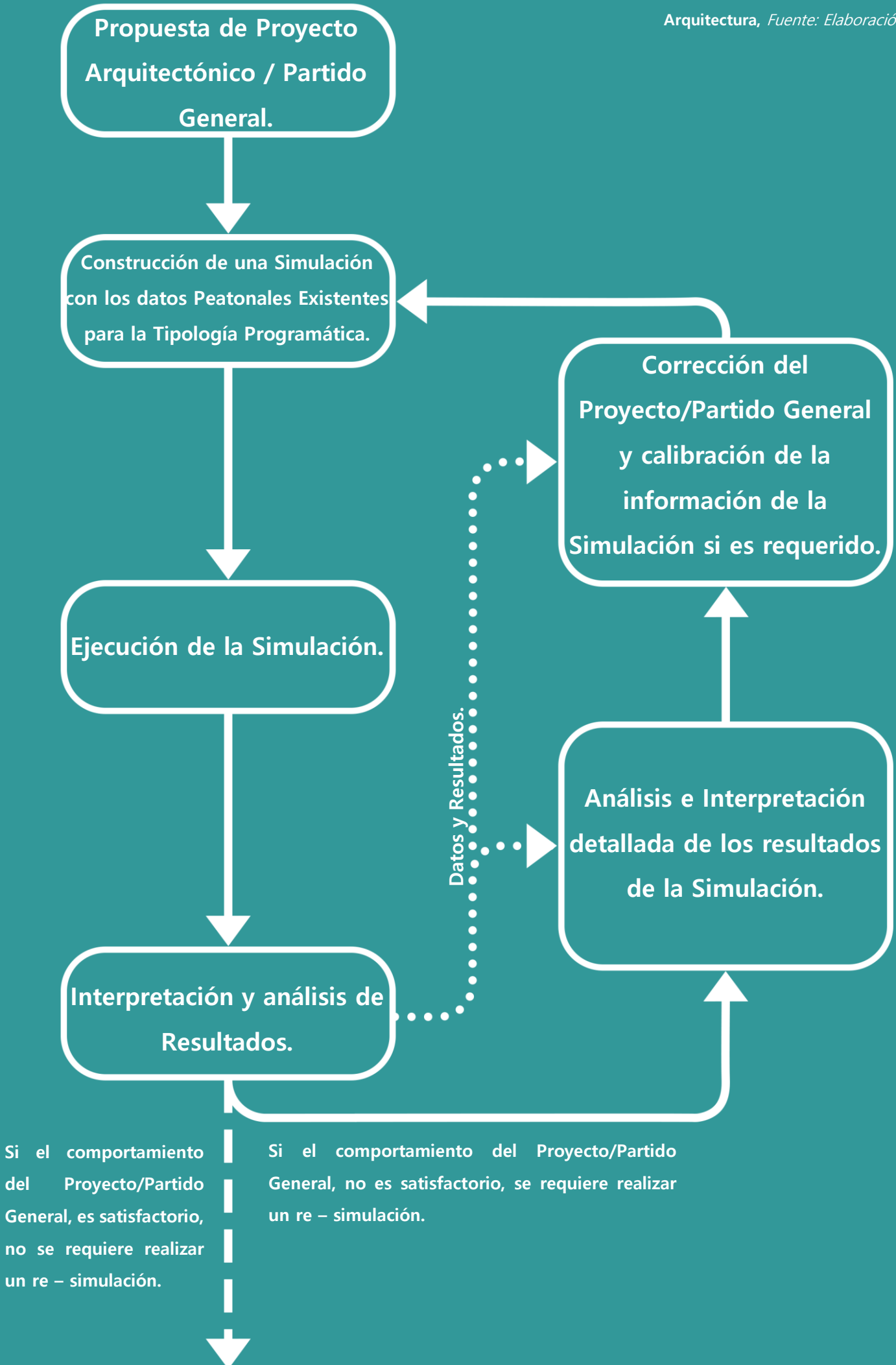


## **7.1.- Planteamiento de las Bases para el desarrollo de una Metodología que integre la Simulación Peatonal en el Diseño con enfoque de Arquitectura.**

Una vez analizado el caso de estudio utilizando la tecnología digital de simulación de flujos peatonales, es posible identificar una serie de factores que inciden en la construcción, desarrollo, análisis e interpretación de una simulación peatonal con enfoque de arquitectura, por lo tanto estas bases radican en, que para construir una simulación peatonal en el campo disciplinar planteado por este semanario de investigación siempre se debe tomar en perspectiva el enfoque de arquitectura, en cuanto al análisis de flujos peatonales, el cual está en función de la relación que se presenta entre las personas en movimiento y el espacio diseñado, también es posible mencionar que este planteamiento metodológico siempre debería iniciar desde la concepción de un proyecto el cual puede ser analizado en su totalidad, e independientemente de su estado de avance, consecuentemente al ejecutar la simulación sobre este proyecto en concepción se pueden obtener datos, los cuales con la interpretación adecuada alimentarían el desarrollo del proyecto permitiendo asistir de este modo al proyectista en las estrategias, tácticas y planteamientos del diseño, relativos a al movimiento de las personas en el espacio, generando un ciclo de retroalimentación, donde cada paso de la simulación permitiría obtener información cada vez más refinada hasta alcanzar el estándar de proyecto deseado, este planteamiento lógico está enfocado particularmente a la pequeña y mediana escala, pero sin embargo podría ser aplicado a otras escalas de proyecto, con las investigaciones adecuadas.



Figura 105: Esquema de las bases lógicas metodológicas, para la aplicación de simulación Peatonal en la Toma de decisiones en proyectos de Arquitectura, Fuente: Elaboración Propia.



## 7.2.- Observaciones Específicas Capítulos I-IV.

Habiendo desarrollado este seminario de investigación en función de lo planteado en el capítulo cero es posible desarrollar las conclusiones de lo investigado y reflexionado entre los capítulos I y IV, de este modo es necesario enunciar que de lo investigado en el capítulo I se puede establecer con certeza que los flujos peatonales son una variable de proyecto, que es crítica a la hora de tomar decisiones respecto del espacio en general y las circulaciones en específico, sin duda también es importante mencionar que dentro de lo investigado se ha establecido que, a pesar de existir un amplio desarrollo de la literatura de flujos peatonales en general, esta suele estar enfocada a situaciones anómalas en los proyectos, casi sin tomar en cuenta la operación normal, además de que en muchos de los casos la perspectiva arquitectónica no está presente del todo, de este modo desde la perspectiva de este seminario de investigación se observa dentro del ámbito del capítulo I, que sería necesario desarrollar a futuro investigación respecto del tema de los flujos peatonales con perspectiva de arquitectura en el contexto local ya que a juicio de esta investigación sería relevante la integración de este tópico de una manera más "exacta" al desarrollo arquitectónico en general, ya que este fenómeno dentro de la arquitectura posee un impacto que hasta ahora ha pasado desapercibido respecto de toda su real dimensión. Ahora bien, para lo expuesto en el capítulo II de esta investigación es pertinente concluir que las prestaciones de la simulación en general y de la simulación peatonal en específico son un insumo clave para el diseño arquitectónico de la segunda mitad del siglo XXI en adelante, ya que el aumento de la complejidad de los proyectos de arquitectura puede ser sopesada con herramientas como esta, permitiendo el desarrollo de proyectos acorde a las necesidades y desafíos presentados a la arquitectura derivados de un mundo en constante evolución y cambio, pero que también respondan a las necesidades del habitante, sin embargo es necesaria más investigación para lograr una mejor integración de la simulación peatonal como herramienta de diseño arquitectónico, enfatizando esto en el desarrollo de herramientas de simulación peatonal de mayor accesibilidad y con un enfoque de arquitectura más presente.

Respecto de lo desarrollado en el capítulo III de esta investigación es posible determinar que los fenómenos peatonales descritos en el capítulo I de esta investigación se manifiestan de una manera difusa donde se requiere un examen acucioso para evidenciarlos, esto particularmente ocurre en la pequeña y mediana escala ya que aparentemente las dimensiones limitadas de los espacios tienden a generar flujos turbulentos de personas que no siempre siguen la lógica establecida por la literatura, por lo tanto sería pertinente acotar que es necesario profundizar en el análisis de flujos peatonales en proyectos de pequeña y mediana escala para entender de una manera más acabada la relación del espacio diseñado con los flujos peatonales, y aportar a la producción arquitectónica en general.

Finalmente, para lo desarrollado en el capítulo IV es posible observar que en el estado actual de la tecnología es posible incursionar en el diseño arquitectónico basado en la información entregada por las simulaciones, ya que esta posee un nivel de predicción suficiente, logrando reproducir dinámicas observadas en multitudes reales, con un grado de coherencia relativamente alto, mantenido una estabilidad ante situaciones de carga de trabajo elevada, esto observado tanto en la simulación de control como en los escenarios planteados, apresar de esto hay aspectos de la simulación, donde esta tecnología aun requiere perfeccionamiento, particularmente a la hora de reproducir el comportamiento de la espera, donde los peatones en espera tienden a mantenerse en movimiento en el espacio sin rumbo, contrario a las multitudes reales, hasta que el punto de control que requieren esté disponible y la formación de filas, ya que esta tiende a ser mucho menos orgánica de lo que es observable en análisis de campo, por esto, sería adecuado analizar la solución de software de simulación en otras tipologías programáticas de proyectos o escalas, con el fin de corroborar el desempeño de la herramienta y evaluar la manera de sopesar las falencias detectadas, tal como se hizo con los grupos de personas (especificado en el punto 5.3), contemplado esto, la herramienta de simulación seleccionada en su estado actual y a pesar de las falencias detectadas, que son relativamente pequeñas, puede llegar a ser un aporte en el que hacer arquitectónico en general, dadas sus prestaciones particulares y su capacidad analítico predictiva, pudiendo entregar información capaz de apoyar la toma de decisiones de arquitectura de una manera más exacta respecto de los flujos peatonales.



## 7.3.- Conclusiones Generales.

Habiendo completado la investigación en general es posible dar respuesta a la pregunta de investigación establecida junto con el objetivo general planteado para esta investigación de este modo es posible establecer el impacto que tendría el uso de herramientas de simulación peatonal en el proceso de diseño de arquitectura de proyectos de pequeña y mediana escala, en principio este impacto se manifestaría en un aumento de la capacidad de análisis del proyectista permitiéndole entender el flujo peatonal y su relación con el espacio, a través de una herramienta de carácter predictivo abriendo la puerta al desarrollo de proyectos que integren el flujo peatonal logrando espacios acordes a las necesidades del proyecto en general, reduciendo el gasto de recursos humanos y materiales en el sobre dimensionamiento los espacios diseñados, y permitiendo en particular un trato consciente del diseño arquitectónico respecto del ser humano y sus movimientos en el espacio, mejorando el confort del usuario en las obras desarrolladas en la pequeña y mediana escala pudiendo llegar a afectar positivamente la manera en que las personas en general se relacionan con el espacio diseñado.

Como comentario final surgido de la reflexión en torno al impacto de la simulación peatonal en la arquitectura, es evidente el potencial de esta herramienta para alimentar otros campos de la disciplina que no han sido tratados en esta investigación, un caso en específico podría ser el ámbito de la creación normativa donde la simulación peatonal podría jugar un rol clave en el desarrollo de estándares y cuerpos legales, permitiendo al creador normativo evaluar las lógicas establecidas, generando un impacto positivo en la calidad de la arquitectura en general y su habitabilidad, pudiendo tomar en cuenta la real dimensión de los flujos peatonales y su relación con el espacio Arquitectónico.

## 8.- Bibliografía.

- Abdelhameed, W. (2018). BIM in architecture curriculum: a case study. *Architectural Science Review*, 61(6), 480–491. <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1483888>
- Adrian, J., Bode, N., Amos, M., Baratchi, M., Beermann, M., Boltjes, M., Corbetta, A., Dezechache, G., Drury, J., Fu, Z., Geraerts, R., Gwynne, S., Hofinger, G., Hunt, A., Kanters, T., Kneidl, A., Konya, K., Köster, G., Küpper, M., ... Wijermans, N. (2019). A Glossary for Research on Human Crowd Dynamics. *Collective Dynamics*, 4. <https://doi.org/10.17815/cd.2019.19>
- ALTUZARRA, C. (2015). La construcción de la arquitectura o el dominio de la materia. *Arquitectura y Construcción*, 3(diciembre), 101–109.
- Aschwanden, G., Halatsch, J., & Schmitt, G. (2008). Crowd Simulation for Urban Planning. *Architecture in Computro - 26th ECAADe Conference Proceedings*, 493–500.
- Bernal-Leongómez, J Vergara-Silva, J, C., & Cruz-Espejo, E.-R.-. (2014). Diccionario de la Lengua Española by coll. (z-lib.org). *Real Academia Española, vigesimote(RAE)*, 9135.  
<http://www.newcomlab.com/>
- Bighashdel, A., Meletis, P., & Dubbelman, G. (2020). Towards Equilibrium-based Interaction Modeling for Pedestrian Path Prediction. *2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2020*. <https://doi.org/10.1109/ITSC45102.2020.9294530>
- Celia Lozano, Álvaro Janda, Diego Maza, Angel Garcimartín, I. Z. (2010). *DISMINUCIÓN DE LA PROBABILIDAD DE ATASCOS POR LA PRESENCIA DE UN OBSTÁCULO CERCA DE LA SALIDA*. 1–3.
- Davidich, M., Geiss, F., Mayer, H. G., Pfaffinger, A., & Royer, C. (2013). Waiting zones for realistic modelling of pedestrian dynamics: A case study using two major German railway stations as examples. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 37, 210–222.  
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.02.016>

- Ding, N., Chen, T., Zhu, Y., & Lu, Y. (2021). State-of-the-art high-rise building emergency evacuation behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *561*, 125168.  
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125168>
- Eleonora Papadimitriou, George Yannis, J. G. (2009). A critical assessment of pedestrian behaviour models. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *12*(3), 242–255.  
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.12.004>
- Farr, A. C., Kleinschmidt, T., Yarlagadda, P., & Mengersen, K. (2012). Wayfinding: A simple concept, a complex process. *Transport Reviews*, *32*(6), 715–743. <https://doi.org/10.1080/01441647.2012.712555>
- Fredy, & Guío. (2010). Flujos peatonales en infraestructuras continuas: marco conceptual y modelos representativos. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, *1*(29), 179–203.
- Georg, P., Schumann, J., Boltz, M., Holl, S., & Hofmann, A. (2020). The influence of physical and mental constraints to a stream of people through a bottleneck. *Collective Dynamics*, *5*(57), 1–6.  
<https://doi.org/10.17815/cd.2020.57>
- Groupe ADP. (2019). *TRAFIC DU MOIS D'OCTOBRE 2019*. <https://presse.groupeadp.fr/trafic-octobre-2019/?lang=fr>
- Guo, R. Y., Wong, S. C., Huang, H. J., Zhang, P., & Lam, W. H. K. (2010). A microscopic pedestrian-simulation model and its application to intersecting flows. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *389*(3), 515–526. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2009.10.008>
- Guzmán Mora, A., & Calderón Stamatío, S. E. (2018). Desarrollo Digital Un Reto De Innovación En Arquitectura. *Revista Varela*, *18*(51), 291–306. <http://revistavarela.uclv.edu.cu,revistavarela@uclv.cu>
- Haghani, M. (2020a). Empirical methods in pedestrian, crowd and evacuation dynamics: Part II. Field methods and controversial topics. *Safety Science*, *129*(March), 104760.  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104760>
- Haghani, M. (2020b). Optimising crowd evacuations: Mathematical, architectural and behavioural



approaches. *Safety Science*, 128(November 2019), 104745.

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104745>

Harvey, D. (2008). París, capital de la modernidad. In *Work*.

<http://books.google.com/books?id=K1nACi6tIZgC&pgis=1>

Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A., & Werner, T. (2005). Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions. *Transportation Science*, 39(1), 1–24.

<https://doi.org/10.1287/trsc.1040.0108>

Helbing, D., & Molnár, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, 51(5), 4282–4286. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282>

Hiram Ruiz Esparza González, F. de J. M. Á. y G. S. M. A. (2011). SIMULACIÓN: CONCEPTOS Y EVOLUCIÓN. *Memoria En CD Del XV Congreso Internacional de Investigación En Ciencias Administrativas ACACIA, Universidad Veracruzana*.

[https://doi.org/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38570127/Simulacion.pdf-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1635725148&Signature=bhvOA4kM7Rn2Z~vTiLd2qw8OU5Ou4natO8HBirVvbrxvo2BXDhNEw8VWMJILR~CJnFFAK2zi9M-XwEHVisPAyJIGoH-O80QqnKbLtsy4M6kLYa-thg-E8jc9wBTI3BuyfsM5LmOiByV4Lmoyw6gTHQkw03JwyPh8SxMt9dODgBWXI5INJxlraz~PhoDIGtigEQwA5V7xUbSWbrOlii5JqJoWCI1zoh~djBnF42TggCK5EXMQX6NKUORvHxpkZGUhToXjTILkSSCS2O0Jec~Dg0y0GdotJ0F98j7oou0zxyKDhmQglcCYqTDmcpRiX6PbECfWAtjZwDQaXQ2ghecrw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://doi.org/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38570127/Simulacion.pdf-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1635725148&Signature=bhvOA4kM7Rn2Z~vTiLd2qw8OU5Ou4natO8HBirVvbrxvo2BXDhNEw8VWMJILR~CJnFFAK2zi9M-XwEHVisPAyJIGoH-O80QqnKbLtsy4M6kLYa-thg-E8jc9wBTI3BuyfsM5LmOiByV4Lmoyw6gTHQkw03JwyPh8SxMt9dODgBWXI5INJxlraz~PhoDIGtigEQwA5V7xUbSWbrOlii5JqJoWCI1zoh~djBnF42TggCK5EXMQX6NKUORvHxpkZGUhToXjTILkSSCS2O0Jec~Dg0y0GdotJ0F98j7oou0zxyKDhmQglcCYqTDmcpRiX6PbECfWAtjZwDQaXQ2ghecrw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Hoogendoorn, S. P., Van Wageningen-Kessels, F. L. M., Daamen, W., & Duives, D. C. (2014). Continuum modelling of pedestrian flows: From microscopic principles to self-organised macroscopic phenomena. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 416(xxxx), 684–694.

<https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.07.050>

Jalalian, A., Chalup, S. K., & Ostwald, M. J. (2010). *Simulating pedestrian flow dynamics for evaluating the design of urban and architectural space. Bonabeau 2002*.

- Jalalian, A., Chalup, S. K., & Ostwald, M. J. (2011). Architectural evaluation of simulated pedestrian spatial behaviour. *Architectural Science Review*, 54(SPEC. ISSUE), 132–140.  
<https://doi.org/10.1080/00038628.2011.582372>
- Johansson, F., Peterson, A., & Tapani, A. (2015). Waiting pedestrians in the social force model. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 419(419), 95–107.  
<https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.10.003>
- Li, H., Zhang, J., Song, W., & Yuen, K. K. R. (2021). A comparative study on the bottleneck pedestrian flow under different movement motivations. *Fire Safety Journal*, 120(April), 103014.  
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103014>
- López, J. M. (2014). *Facultad de Filosofía y Letras Grado en Historia Auge y caída de Teotihuacan , la primera gran.* 2013–2014.
- Norberg schulz, C. (2015). Los principios de la arquitectura moderna. *Estudios Universitarios de Arquitectura Sobre La Nueva Tradición Del Siglo Xx; Barcelona*, 3, 26.
- Nuevopudahuel. (2017). *El mejor aeropuerto de Sudamérica.*  
<https://www.nuevopudahuel.cl/noticia/mejor-aeropuerto-de-sudamerica>
- Ridel, D., Rehder, E., Lauer, M., Stiller, C., & Wolf, D. (2018). A Literature Review on the Prediction of Pedestrian Behavior in Urban Scenarios. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2018-Novem*, 3105–3112. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569415>
- Rodriguez Cobos, L. (2015). *the Origin of the Architecture.* 2, 17–34.
- Roger P. Roess, Elena S. Prassas, William R. McShane. (2004). Traffic engineering. *Australian Surveyor*, 17(5), 277–277. <https://doi.org/10.1080/00050326.1959.10440426>
- rubén pallol. (2019). *La lucha por la calle. Conflictos en la redefinición del espacio público en las ciudades de comienzos de siglo XX.* 1–34. <https://doi.org/file:///C:/Users/Usuario/Downloads/100-Texte%20de%20l'article-290-1-10-20190306.pdf>

- Shiwakoti, N., Gong, Y., Shi, X., & Ye, Z. (2015). Examining influence of merging architectural features on pedestrian crowd movement. *Safety Science, 75*, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.009>
- Sticco, I. M., Cornes, F. E., Frank, G. A., & Dorso, C. O. (2017). Beyond the faster-is-slower effect. *Physical Review E, 96*(5). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.052303>
- Th. Robin, G. Antonini, M. Bierlaire, J. C. (2009). Specification, estimation and validation of a pedestrian walking behavior model. *Transportation Research Part B: Methodological, 43*(1), 36–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trb.2008.06.010>
- Torres-Ruiz, M., Moreno-Ibarra, M., Alhalabi, W., Quintero, R., & Guzmán, G. (2018). Towards a microscopic model for analyzing the pedestrian mobility in an urban infrastructure. *Journal of Science and Technology Policy Management, 9*(2), 170–188. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-05-2017-0023>
- Trujillo, J., & Cubillos-González, R. A. (2016). La simulación como herramienta de diseño y evaluación arquitectónica, paradigmas resueltos desde la ingeniería. *Revista de Arquitectura, 18*(1), 111–125. <https://doi.org/10.14718/revarq.2016.18.1.10>
- UNFPA. (2011). *Desafíos, oportunidades y acciones en un mundo de 7 mil millones*. UNFPA. [https://doi.org/https://www.unfpa.org/sites/default/files/jahia-news/documents/news/2011/7bpressrelease\\_sp.pdf](https://doi.org/https://www.unfpa.org/sites/default/files/jahia-news/documents/news/2011/7bpressrelease_sp.pdf)
- Yuan, Y., Goñi-Ros, B., Bui, H. H., Daamen, W., Vu, H. L., & Hoogendoorn, S. P. (2020). Macroscopic pedestrian flow simulation using Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 111*(August 2019), 334–351. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.12.017>
- Zhonghua, J., & Yanyun, C. (2018). Research on Evacuation of Panic People Based on Optimal Control. *Chinese Control Conference, CCC, 2018-July*(1), 2161–2166. <https://doi.org/10.23919/ChiCC.2018.8483189>



## 9.- Referencias de Figuras.

- **Nota:** Todas las Intervenciones de Fotografías desarrolladas entre las Figuras de este Seminario de Investigación son de Autoría de la Investigación, salvo las Intervenciones de la Figura 28 y 29, además las Figuras 7, 35, 36, 37 Y 38, son Imágenes sin Ningún tipo de Intervención, salvo recortes de sus Bordes.
- **Figura 1:** Imagen ilustrativa de una multitud de alta densidad moviéndose en el espacio, imagen extraída de: <https://www.pexels.com/photo/people-on-sidewalk-selective-focal-photo-1687093>.
- **Figura 2:** Proyecto desarrollado por OMA, CMG Headquarter, Beijing, China, ejemplo de proyecto de arquitectura en el cual existo una aplicación integral de las tecnologías digitales en su proceso de diseño, imagen extraída de: <https://www.architecturaldigest.com/story/rem-koolhaas-buildings-article>.
- **Figura 3:** Proyecto Caja de Ahorros Postal de Viena, finalizado en 1912, por Otto Wagner, proyecto de mediana escala exponente de los principios de la modernidad temprana y la inclusión de las nuevas variables de diseño en los proyectos, Imagen extraída de: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/caja-de-ahorros-postal-de-viena/>.
- **Figura 4:** Imagen renderizada del modelo de un proyecto terminado desarrollado en BIM, ejemplificando las distintas capas de información que se superponen en los proyectos de arquitectura en la actualidad, imagen extraída de: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/965810/como-formarse-profesionalmente-en-bim/612d1443a9505c0164b667a3-como-formarse-profesionalmente-en-bim-imagen>.
- **Figura 5:** Fotografía interior de Mall de mediana escala, ejemplificado un espacio interior saturado con una configuración orgánica de flujos peatonales caótica, imagen extraída de: <https://newsroom.ucla.edu/file?fid=5c0714b62cfac2673a0c8aa3>.

- **Figura 6:** Fotografías comparativas del espacio interior con programa similar de un proyecto de gran escala y uno de pequeña evidenciando lo mencionado anteriormente respecto de las constricciones del diseño según la escala del proyecto, ambas imágenes tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 7:** Imagen de una simulación peatonal desarrollada con el fin de analizar el comportamiento de multitudes de media densidad en espacios interiores, desarrollada en el Software Oasys Massmotion v. 9.8., imagen extraída de: <https://www.oasys-software.com/products/pedestrian-simulation/massmotion/>.
- **Figura 8:** Imágenes comparativas de los espacios Interiores de distintas tipologías programáticas y su relación con las personas en movimiento, imagen de arriba tomadas por el autor de la Investigación e imagen de abajo extraída de: <https://www.timesofisrael.com/israelis-flood-reopened-malls-as-taskforce-warns-of-clear-rise-in-virus-cases/>.
- **Figura 9:** Imágenes comparativas de lo expuesto relativo a la cohesión del flujo peatonal respecto de la tipología programática y los puntos de interés, imagen de arriba extraída de: <https://pxhere.com/es/photo/499596>, y la de abajo: <https://www.libelium.com/libeliumworld/success-stories/iot-to-enhance-customer-experience-in-shopping-centers/>.
- **Figura 10:** Esquema Metodológico, esquema desarrollado por el autor de la Investigación.
- **Figura 11:** Emplazamiento Territorial del Caso de Estudio, esquema desarrollado por el autor de la Investigación, basado en imágenes satelitales de Google Earth.
- **Figura 12:** Imágenes comparativas del emplazamiento del caso de estudio y su fachada principal, imagen de arriba obtenida a través de DAP Región de los Ríos, imagen de abajo tomada por el autor de esta investigación.
- **Figura 13:** Imágenes comparativas de distintas obras de arquitectura de la antigüedad destinadas al tránsito y circulación de personas, imagen de arriba extraída de: <https://www.youtube.com/watch?v=fbJfiUkIOEM> y la de abajo: <https://escapesporelmundo.com/7-cosas-que-debes-hacer-en-luxor-2/>.

- **Figura 14:** Imágenes comparativas de distintas obras de arquitectura de la antigüedad destinadas al tránsito y circulación de personas, imagen de arriba extraída de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_de\\_Camboya](https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_de_Camboya) y la de abajo: <https://oasishoteles.com/blog/visitando-la-ciudad-prehispanica-de-teotihuacan/>.

- **Figura 15:** Imágenes comparativas de obras de arquitectura y urbanismo desarrolladas con una concepción consciente de los flujos peatonales durante y previo a la revolución Industrial, imagen de arriba extraída de: [https://elpais.com/elpais/2017/08/31/opinion/1504187557\\_190817.html](https://elpais.com/elpais/2017/08/31/opinion/1504187557_190817.html) y la de abajo: [https://es.wikipedia.org/wiki/Avenida\\_de\\_los\\_Campos\\_El%C3%ADseos](https://es.wikipedia.org/wiki/Avenida_de_los_Campos_El%C3%ADseos).

- **Figura 16:** Imágenes comparativas de obras de arquitectura y urbanismo desarrolladas con una concepción consciente de los flujos peatonales durante la revolución Industrial y el Movimiento moderno, imagen de arriba extraída de: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crystal\\_Palace\\_-\\_interior.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crystal_Palace_-_interior.jpg) y la de abajo: <https://www.askideas.com/20-most-beautiful-guggenheim-museum-pictures-and-images/inside-view-of-the-guggenheim-museum-in-new-york/>.

- **Figura 17:** Fotografía del espacio de acceso a una estación contemporánea del metro de Londres, esta imagen evidencia lo anteriormente descrito sobre la impredecibilidad y caos de los flujos peatonales, imagen extraída de: <https://www.wallpaperflare.com/people-standing-and-walking-on-stairs-in-mall-crowd-of-people-in-mall-wallpaper-wjxwo/download/1920x1080>.

- **Figura 18:** Fotografía de un espacio de circulación con un tráfico de personas bidireccional donde se observa las reales dimensiones de una multitud en movimiento y de las interacciones Humano – Humano, imagen extraída de: <https://www.sciencefriday.com/segments/the-physics-of-a-crowd/>.

- **Figura 19:** Fotografía de un espacio de circulación público donde se evidencia la relación que tiene los peatones con los factores de su entorno, resaltando en azul las rutas realizadas y en rojo punteado las rutas previstas, imagen extraída de: <https://theconversation.com/coronavirus-using-crowd-simulation-to-encourage-social-distancing-143121>.



- **Figura 20:** Imágenes ilustrativas de las dinámicas N°1 y N°2 antes mencionadas, ambas tomadas en el cruce Shibuya, Tokyo, Japon, imagen de arriba extraída de: <https://www.youtube.com/watch?v=7f7MvEzBeDk> y la de abajo: [https://www.youtube.com/watch?v=c4Up\\_djiYok](https://www.youtube.com/watch?v=c4Up_djiYok).

- **Figura 21:** Imágenes ilustrativas de las dinámicas N°3, N°4 y N°5 antes mencionadas, imagen de arriba extraída de: <https://www.straitstimes.com/singapore/where-pedestrians-are-kings-of-the-road-5-scramble-crossings-from-around-the-world> y la de abajo del estudio: "Pedestrian merging behavior analysis: An experimental study" Fig. N°1

- **Figura 22:** Imágenes ilustrativas de las dinámicas N°6 y N°7 antes mencionadas, imagen de arriba extraída de: <https://www.kickassfacts.com/advice-how-to-recognize-and-extract-yourself-from-crowd-crushes/> y la de abajo: <https://www.verticalpop.com/wayfinding-encontrar-camino/>.

- **Figura 23:** Imágenes ilustrativas de las dinámicas N°8 y N°9 antes mencionadas, imagen de arriba extraída de: <https://www.wallpaperflare.com/people-standing-and-walking-on-stairs-in-mall-crowd-of-people-in-mall-wallpaper-wjxwo/download/1920x1080> y la de abajo de: <https://www.cnet.com/health/social-distancing-how-to-do-it-who-should-do-it-and-for-how-long/>.

- **Figura 24:** Fotografía interior del Hall Central del Caso de Estudio donde se resalta en azul y blanco los peatones que se desplazan por el espacio como un grupo unificado como se menciona anteriormente, imagen tomada por el autor de esta investigación.

- **Figura 25:** Fotografía interior del Hall Central de una estación de trenes en Gran Bretaña mostrando la influencia del espacio diseñado en la dinámica de los flujos, imagen extraída de: <https://www.wired.co.uk/article/physics-crowd-dynamics>.

- **Figura 26:** Fotografías comparativas del espacio interior con programa similar de un proyecto de gran escala y uno de pequeña evidenciando lo mencionado anteriormente respecto de las constricciones del diseño según la escala del proyecto, ambas imágenes tomadas por el autor de esta investigación.

- **Figura 27:** imagen de una multitud en movimiento evidenciando la imprevisibilidad y caos subyacente a la naturaleza de esta complejizando su análisis, imagen extraída de: <https://www.ucsf.edu/news/2020/03/416906/why-experts-are-urging-social-distancing-combat-coronavirus-outbreak>.

- **Figura 28:** Ejemplo representativo de un análisis Macroscópico entre dos multitudes en intersección, imagen extraída del estudio: *Macroscopic pedestrian flow simulation using Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) Fig. 10.*

- **Figura 29:** Ejemplo representativo de un análisis Microscópico desarrollado en el aeropuerto de Copenhague, imagen extraída del estudio: *Airport Design and Situational Passenger Flows and Practices: Exploring Design as a Method in Copenhagen Airport Fig. 7*

- **Figura 30:** Imagen de una Multitud de Alta densidad en el espacio Público, donde en estos casos de alta saturación los problemas respecto de los Flujos Peatonales y su relación con el espacio son más evidentes, imagen extraída de: <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/does-living-in-crowded-places-drive-people-crazy/>.

- **Figura 31:** Imagen de una multitud transitando en un cruce de calle bidireccional durante un evento, donde se evidencian los fenómenos N°1 y N°2 antes descritos, resaltando en azul los puntos de taponamiento y representando las flechas blancas los cuellos de botella generados por la misma multitud, imagen extraída de: <https://www.youtube.com/watch?v=M-uHtGKLDD0>.

- **Figura 32:** Imágenes Ilustrativas de los Fenómenos N°3 y N°4 antes mencionadas, imagen de arriba extraída de: <http://eclecticepisodes.blogspot.com/2010/11/hundreds-killed-by-human-stampede-in.html> y la de abajo tomada por el autor de esta investigación.

- **Figura 33:** Imágenes Ilustrativas de los Fenómenos N°5 y N°6 antes mencionadas, imagen de arriba extraída del estudio *"A comparative study on the bottleneck pedestrian flow under different movement motivations Fig. 1"* y la de abajo: <https://www.wired.co.uk/article/physics-crowd-dynamics>

- **Figura 34:** Imagen Interior del Hall central del Aeródromo Pichoy, donde se resalta en verde y rojo distintas filas que se desarrollan en el espacio, las líneas punteadas evidencian sus trazados donde se observa que la fila destacada en color azul tiende a cortar el espacio central dificultando la circulación, imagen tomada por el autor de esta investigación.

- **Figura 35:** Imagen de una simulación de Fluidos aplicada sobre un proyecto abstracto en el software SIMSCALE, evidenciando las capacidades aplicables a la arquitectura de la simulación de distintas variables de proyecto, imagen extraída de: <https://aecmag.com/sponsored-content/simulation-for-pedestrian-wind-comfort-sponsored-content/>.

- **Figura 36:** Imagen de un análisis lumínico desarrollado en "Evaluación postocupacional del confort lumínico en edificios de oficina" evidenciando lo relevante que la aplicación de la simulación en general puede llegar a ser en el desarrollo de la Arquitectura como disciplina, imagen extraída de: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/968554/por-que-es-necesaria-una-evaluacion-post-ocupacional-del-confort-luminico-en-los-edificios-de-oficina/614256fcf91c81ddba000007-por-que-es-necesaria-una-evaluacion-post-ocupacional-del-confort-luminico-en-los-edificios-de-oficina-imagen>.

- **Figura 37:** Imagen de una simulación peatonal desarrollada con el fin de analizar el comportamiento de multitudes de media densidad en espacios interiores, desarrollada en el Software Oasys Massmotion v. 9.8., ejemplificando softwares de simulación peatonal capaces de entregar resultados en Tiempo Real, imagen extraída de: <https://www.oasys-software.com/products/pedestrian-simulation/massmotion/>.

- **Figura 38:** Imágenes comparativas de los distintos softwares de simulación, imagen de Arriba a la Izquierda fue extraída de: <https://aecmag.com/news/massmotion-flow/>, la de Arriba a la Derecha fue extraída de: <https://www.ucrowds.com/>, la de Abajo a la Izquierda fue extraída de: <https://www.youtube.com/watch?v=wivbHyM4tWA>, y la de Abajo a la Derecha fue extraída de <https://www.youtube.com/watch?v=jrS5hfWB2el>.

- **Figura 39:** Imágenes de la Interface de Grasshopper, y de la Interface de Rhino al mismo tiempo ejecutando una simulación básica, esto demuestra lo simple que es la lógica del software seleccionado,



considerando que este ejemplo fue desarrollado en 5 min, sin un mayor conocimiento de Ped Sim Pro y un nivel Intermedio de Grasshopper y Rhino, imágenes elaboradas por el autor de esta investigación.

- **Figura 40:** Esquemas de Funcionamiento y lógica de Ped Sim Pro, ambas imagen fueron obtenidas de: <https://www.pedsim.net/>.

- **Figura 41:** Interface de Grasshopper con los componentes de simulación comprada con el modelo desarrollado en Rhino, imágenes de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.

- **Figura 42:** Evolución del desarrollo de la Simulación, imágenes de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.

- **Figura 43:** Evolución del desarrollo de la Simulación, imágenes de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.

- **Figura 44:** Interface de Grasshopper con los componentes de simulación comprada con el modelo desarrollado en Rhino, imágenes de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.

- **Figura 45:** Evolución del desarrollo de la Simulación, imágenes de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.

- **Figura 46:** Evolución del desarrollo de la Simulación, imágenes de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.

- **Figura 47:** Interface de Grasshopper con los componentes de simulación, imagen de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.

- **Figura 48:** Evolución del desarrollo de la Simulación, e interfaz de Rhino mostrando los puntos de Interés y control, imágenes de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.

- **Figura 49:** Evolución del desarrollo de la Simulación, imágenes de elaboración propia, modificando uno de los modelos demostrativos incluidos con el programa.
- **Figura 50:** Imágenes comparativas de lo expuesto relativo al nivel de certeza en dinámicas de los flujos peatonales y de los movimientos de los peatones en los entornos aeroportuarios, imagen de arriba extraída de: <https://www.biobiochile.cl/noticias/2014/07/06/inauguracion-de-aeropuerto-internacional-en-temuco-deberia-ser-en-30-dias-mas.shtml>, y la de abajo: <https://www.dreamstime.com/editorial-photography-people-crowd-shopping-luxury-mall-interior-bucharest-romania-june-image55042732>.
- **Figura 51:** Listado de Aeropuertos con terminales de pasajeros en Chile, esquema desarrollado por el autor de la Investigación, basado en imágenes satelitales de Google Earth, utilizando la información proporcionada por la JAC 2019.
- **Figura 52:** Emplazamiento Territorial del Caso de Estudio, esquema desarrollado por el autor de la Investigación, basado en imágenes satelitales de Google Earth.
- **Figura 53:** Imágenes comparativas del emplazamiento territorial del caso de estudio y un acercamiento a su emplazamiento directo, imagen de arriba basada en imágenes satelitales de Google Earth, imagen de abajo proporciona por DAP Los Ríos.
- **Figura 54:** Imágenes de la fachada de la terminal de pasajeros del Aeródromo Pichoy, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 55:** Alzados planimétricos del proyecto en su estado actual, imagen de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos.
- **Figura 56:** Alzado y secciones planimétricas del proyecto en su estado actual, imagen de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos.
- **Figura 57:** Planta general de la Terminal de pasajeros en su estado actual, imagen de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos.

- **Figura 58:** Planta general de la terminal con desglose de espacios de estudio, imagen de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos.
- **Figura 59:** Planta Hall central con desglose de puntos de interés peatonal, imagen de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos.
- **Figura 60:** Fotografías del Hall central y su espacio central, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 61:** Planta sala de embarque con desglose de puntos de interés peatonal, imagen de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos.
- **Figura 62:** Fotografías Interiores Sala de Embarque, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 63:** Planta sala de desembarque con desglose de puntos de interés peatonal, imagen de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos.
- **Figura 64:** Fotografías Interiores Sala de Llegadas, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 65:** Imagen aérea del caso de estudio indicando la cantidad y posición máxima de aeronaves que puede haber al mismo tiempo, esquema elaborado por el autor de esta investigación basado en la imagen aérea e información proporcionada por DAP Los Ríos.
- **Figura 66:** Esquema representativo de la cantidad de personas que utiliza una aeronave del tipo que arriba a el caso de estudio, esquema elaborado por el autor de esta investigación.
- **Figura 67:** Desglose de los distintos tipos de Peatones presentes en el Caso de Estudio, esquema elaborado por el autor de esta investigación basado información proporcionada por DAP Los Ríos.
- **Figura 68:** Desglose de los distintos tipos de Peatones presentes en el Caso de Estudio, esquema elaborado por el autor de esta investigación basado información proporcionada por DAP Los Ríos.
- **Figura 69:** Planta general de la Terminal de pasajeros mostrando la lógica peatonal de los "Abordantes" para un vuelo saliente de la puerta N°1, esquema elaborado por el autor de esta investigación basado información proporcionada por DAP Los Ríos.



- **Figura 70:** Planta general de la Terminal de pasajeros mostrando la lógica peatonal de los “Desembarcantes” para un vuelo entrante de la puerta N°1, esquema elaborado por el autor de esta investigación basado información proporcionada por DAP Los Ríos.
- **Figura 71:** Planta general de la Terminal de pasajeros mostrando la lógica peatonal de los “Acompañantes” para un vuelo entrante de la puerta N°1, esquema elaborado por el autor de esta investigación basado información proporcionada por DAP Los Ríos.
- **Figura 72:** Planta Hall central con desglose de flujos peatonales en el tramo Horario 12:00 – 12:30, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.
- **Figura 73:** Fotografías del Hall central entre las 12:00 – 12:30, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 74:** Planta Hall central con desglose de flujos peatonales en el tramo Horario 12:30 – 13:00, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.
- **Figura 75:** Fotografías del Hall central entre las 12:30 – 13:00, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 76:** Planta Hall central con desglose de flujos peatonales en el tramo Horario 13:00 – 13:30, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.
- **Figura 77:** Fotografías del Hall central entre las 13:00 – 13:30, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 78:** Planta Hall central con desglose de flujos peatonales en el tramo Horario 13:30 – 14:00, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.
- **Figura 79:** Fotografías del Hall central entre las 13:30 – 14:00, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 80:** Planta Hall central con desglose de flujos peatonales, en el tramo Horario 14:00 – 14:30, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.

- **Figura 81:** Fotografías del Hall central entre las 14:00 – 14:30, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 82:** Planta sala de embarque con desglose de flujos peatonales, en el tramo horario 13:00 - 13:30, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.
- **Figura 83:** Fotografías de la sala de Embarque entre las 13:00 – 13:30, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 84:** Planta sala de embarque con desglose de flujos peatonales, en el tramo horario 13:30 - 14:00, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.
- **Figura 85:** Fotografías de la sala de Embarque entre las 13:30 – 14:00, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 86:** Planta sala de desembarque con desglose de flujos peatonales en el tramo horario 13:30 – 13:45, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.
- **Figura 87:** Fotografías de la sala de llegadas entre las 13:30 – 13:45, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.
- **Figura 88:** Planta sala de desembarque con desglose de flujos peatonales en el tramo horario 13:45 – 14:00, esquema de elaboración propia basado en planimetrías entregadas por DAP Los Ríos y vista de campo.
- **Figura 89:** Fotografías de la sala de llegadas entre las 13:45 – 14:00, fotografías tomadas por el autor de la Investigación.

- **Figura 90:** Línea del Tiempo de la Visita de campo con los eventos que influyen el aumento o disminución de la población, utilizada como insumo para construir la simulación de control, esquema realizado por el autor de esta investigación.
  
- **Figura 91:** Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 12:15 (Ts+015 Min.), esquema realizado por el autor de esta investigación, basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 92:** Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 12:30 (Ts+030 Min.), esquema realizado por el autor de esta investigación, basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 93:** Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:00 (Ts+060 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 94:** Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:45 (Ts+105 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 95:** Planta Hall central mostrando los resultados de la simulación de control, a las 14:10 (Ts+135 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 96:** Planta sala de embarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 12:35 (Ts+035 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 97:** Planta sala de embarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:10 (Ts+070 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 98:** Planta sala de embarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:50 (Ts+110 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.



- **Figura 99:** Planta sala de desembarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:35 (Ts+095 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 100:** Planta sala de desembarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:40 (Ts+100 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 101:** Planta sala de desembarque mostrando los resultados de la simulación de control, a las 13:45 (Ts+105 Min.), basado en la información de la simulación de control y la planimetría obtenida de la DAP Los Ríos.
  
- **Figura 102:** Línea del Tempo planteada del Escenario I con los eventos que influyen el aumento o disminución de la población, utilizada como insumo para construir la simulación del Escenario I, esquema realizado por el autor de esta investigación.
  
- **Figura 103:** Línea del Tempo planteada del Escenario II con los eventos que influyen el aumento o disminución de la población, utilizada como insumo para construir la simulación del Escenario II, esquema realizado por el autor de esta investigación.
  
- **Figura 104:** Línea del Tempo planteada del Escenario III con los eventos que influyen el aumento o disminución de la población, utilizada como insumo para construir la simulación del Escenario III, esquema realizado por el autor de esta investigación.
  
- **Figura 105:** Esquema de las bases lógicas metodológicas, para la aplicación de simulación Peatonal en la Toma de decisiones en proyectos de Arquitectura, esquema realizado por el autor de esta investigación