

ANÁLISIS PEATONAL EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

**DE CANDIA, Carlos; LAVEZZOLO, Mercedes; ORDUNA, Martín;
RAGGIO, Nicolás**

cardecan@yahoo.com.ar, mer.lavezzolo@gmail.com,

martinorduna@yahoo.com.ar, raggion@gmail.com

Centro de Estudios del Transporte Área Metropolitana (CETAM);
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo; Universidad de
Buenos Aires.

Resumen

En la actualidad, los desplazamientos peatonales están recuperando su protagonismo y modificando sus dinámicas dentro de la movilidad urbana. Caminar es una forma de circular, pero es también el potencial punto de partida para otras actividades. Así, el incipiente paradigma de la sostenibilidad trae entre sus mejores prácticas la movilidad no motorizada, con un fuerte acento en la movilidad en bicicleta y en la peatonalidad como premisa para el diseño y la planificación de la movilidad en la ciudad. Las infraestructuras en el Transporte están en constante interacción con el comportamiento humano y sus diseños condicionan fuertemente los flujos peatonales.

En paralelo, recientes tecnologías han avanzado en lo concerniente a la modelización y microsimulación de la movilidad peatonal, transformándose en herramientas capaces de lograr una mayor comprensión de hábitos y conductas de desplazamientos. La observación y análisis de la peatonalidad mediante imágenes por fotografías, filmaciones o secuenciales en función del tiempo, han demostrado ser métodos válidos de investigación por su capacidad de extracción de

información cuantitativa y significancia en la ilustración de hábitos y comportamientos sociales que a simple vista son difíciles de percibir. De esta manera, tecnologías tales como la visión artificial vienen posicionándose como un fuerte complemento frente a los métodos tradicionales, permitiendo una amplia y rápida recolección de datos tanto dinámicos como estáticos y un mayor entendimiento de flujos y patrones de ocupación.

La investigación se apoya en un caso de estudio de la Ciudad de Buenos Aires mediante un análisis de capturas de imágenes de video en un centro de trasbordo. Con la ayuda de técnicas basadas en inteligencia artificial, se automatizará la información provista por las imágenes para examinar conductas y patrones de los desplazamientos peatonales en espacios interiores. Adicionalmente el estudio permitiría indagar sobre aspectos del diseño del espacio construido y su condicionante en el comportamiento de los usuarios y posibles recomendaciones para su optimización. De esta manera, esta investigación intenta demostrar la potencialidad de las nuevas tecnologías de visión artificial como herramienta para lograr una mayor comprensión de la relación entre el uso del espacio, el diseño de la infraestructura del transporte y la experiencia del usuario.

Palabras clave

Visión artificial, Transporte, Diseño Urbano, Movilidad Peatonal, Infraestructura

Conceptualización y objetivos

Breve caracterización de la circulación peatonal como movilidad sustentable

El estudio de la movilidad peatonal ha adquirido mayor importancia en los últimos años. Actualmente, los desplazamientos peatonales están adquiriendo un mayor protagonismo en la movilidad urbana (Orduna et al, 2019). La literatura especializada avanza cada vez más sobre esta temática: caminar es

una forma de circular, pero es también el potencial punto de partida para otras actividades (Gehl, 2014). Hay una creciente necesidad de entender la complejidad que existe detrás de la caminabilidad y el espacio construido (Choi, 2013). El antiguo concepto que se tenía sobre el transporte, dio paso al nuevo concepto de movilidad urbana, en el cual no sólo se estudian los viajes para el trayecto que se realiza en un modo de transporte sino también los viajes peatonales y los desplazamientos de los usuarios en los centros de transferencia bajo el concepto de movilidad peatonal

Los modos de trasladarse llevan consigo diferentes aspectos asociados a la frecuencia, la duración y el ritmo, que se encuentran condicionados a su vez por el entorno construido. Si bien hay una clara evidencia de esta relación, es necesario una mayor comprensión y una más precisa cuantificación sobre el comportamiento peatonal en dichos espacios. El objetivo es comprender el recorrido deseado por los peatones, que no siempre se condice con la circulación planteada en el espacio proyectado.

El conocimiento de estos movimientos en detalle posibilita descubrir deficiencias en los diseños de los espacios en relación a la caminabilidad. De esta manera, esta investigación pretende demostrar las posibilidades de visión artificial como una herramienta para lograr una mayor comprensión de los comportamientos peatonales en las interfases intermodales. La utilización de esta tecnología permite visualizar aspectos que a simple vista son difíciles de apreciar en este tipo de movilidad, como ser la cuantificación de los usuarios, sus velocidades, su ocupación, sus trayectorias, entre otros parámetros.

En particular, los centros de trasbordo se han convertido en escenario de una gran confluencia de personas, dado que allí se materializa la transferencia entre modos de transporte. Por lo tanto, el uso de estas tecnologías permitiría contribuir a la optimización del diseño de estas interfases modales, aportando tanto al análisis como al proyecto de estos espacios, logrando una mayor eficiencia entre los modos de transporte y una mejora en la experiencia del usuario.

La importancia de la observación peatonal en el espacio construido

En líneas generales, la observación y análisis de la peatonalidad mediante imágenes por fotografías, filmaciones o secuenciales en función del tiempo, han demostrado ser métodos válidos de investigación por su capacidad de extracción de información cuantitativa y significancia en la ilustración de hábitos y comportamientos sociales. En rigor, a lo largo de la historia de la humanidad, de los viajes, de los desplazamientos, y en definitiva de la movilidad, se ha dejado comúnmente registro en forma de representación gráfica de los lugares recorridos; pero cabe señalar, que en el caso de estudio nos referimos a la

representación gráfica del mismo movimiento nutridos de los beneficios e impactos positivos del desarrollo tecnológico (De Candia et al, 2019).

A nivel mundial, existe numerosa bibliografía sobre trabajos de investigación que han abordado el estudio de comportamiento humano en entornos urbanos (Whyte, 1988): mediante la simple observación y técnica fotográfica de *timelapse*, fue posible crear mapas de comportamiento, logrando un mayor entendimiento del uso y dinámicas peatonales en espacios públicos. De esta manera, se consiguió hacer visibles los flujos peatonales y su interacción con la interfaz vial y el espacio público mediante la simple observación y el uso de métodos tradicionales.

Asimismo, el mismo Jan Gehl, ya desde 1960, ha dedicado su carrera a estudiar y documentar la vida en el espacio público, con el fin de crear ciudades más amigables con las personas. Su comprensión del comportamiento ha contribuido a la creación de mejores entornos urbanos, siendo capaz de demostrar cuándo estos espacios funcionan correctamente, cuando no y porqué. Basó sus trabajos y conclusiones mediante herramientas metodológicas tales como conteos, mapeos, rastreos y el uso de fotografía en los comportamientos de los usuarios en entornos urbanos.

Estos valiosos antecedentes entre otros (Gehl, 2013, pp.40-41) aportan información para la comprensión de las dinámicas peatonales en el espacio construido en un momento en particular; hoy en día, las técnicas de video nos permiten incorporar las variables tiempo y espacio en nuestras observaciones, lo cual genera un mayor entendimiento de la situación en general a la vez que posibilitan obtener mayor cantidad y precisión de registros, resultando de relevancia para los análisis en los centros de transbordo en sus diferentes escalas (Orduna, 2001).

Por otra parte, el movimiento peatonal guarda una intrínseca relación con el espacio construido en tanto el diseño interior del ámbito intermodal se constituyen en escenarios de interacción, donde se conjugan trayectorias de la cadena dinámica de viajes. Para esto, el diseño tiene la capacidad de orientar modificaciones hacia un comportamiento más eficiente de los usuarios para mayor funcionalidad de los centros de transbordo.

Aporte de nuevas tecnologías en el análisis de la movilidad urbana

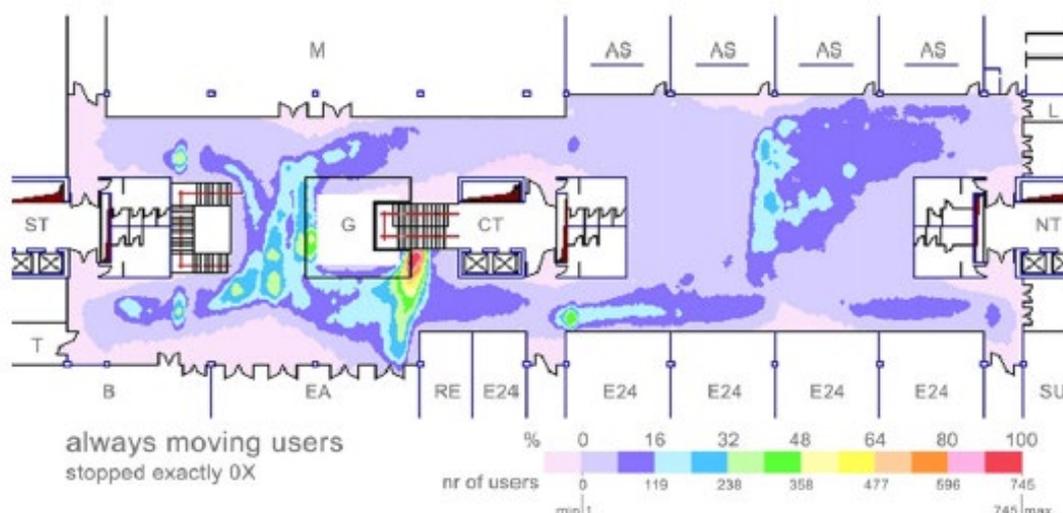
Con los avances tecnológicos ya alcanzados, hoy podemos decir que los métodos tradicionales de recolección de datos sobre infraestructuras de transporte presentan múltiples desventajas y son generalmente ineficientes frente a nuevas tecnologías. Desde un punto de vista económico, suelen ser costosos, por requerir ingentes cantidades de tiempo y recursos humanos.

Desde una mirada técnica, presentan dos grandes problemas, en primer lugar, el movimiento de las personas es visto en particular y no con una visión general que permita una comprensión global del espacio; en segundo lugar, presentan el margen de error propio del error humano en el relevamiento de los datos.

Los avances en Inteligencia Artificial, sumado a mejoras en tecnologías de sensores para el análisis de comportamiento en personas (Lioulemes, 2016; Drazen, 2013; Fod, 2002; Zhao, 2005) han facilitado las posibilidades para nuevos hallazgos en torno al estudio en la movilidad peatonal.

De esta manera, estas nuevas tecnologías se han posicionado como herramientas útiles a la hora de extraer información tanto estática como dinámica, ayudando a descubrir patrones y situaciones que a simple vista o con métodos tradicionales no seríamos capaces de percibir. Se han llevado a cabo investigaciones en diversos campos de estudio en torno a estudiar la relación entre el comportamiento de las personas y el espacio construido mediante el uso de tecnologías (Tomé, 2015; Tzortzi, 2010).

Figura 1: Análisis de uso espacial mediante visión artificial



Tomé et al, 2015

En cuanto al transporte y la optimización de centros de trasbordo, otras investigaciones se han apoyado en el uso de tecnologías de sensoramiento y visión artificial para estudios de monitoreo en andenes (Oh, 2007), entorno construido y comportamiento de usuarios en estaciones ferroviarias (Townsend, 2010), monitoreo en tiempo real de pasajeros en estaciones (Virgona, 2015) y mejoras en diseño de estaciones subterráneas en base a la mayor comprensión de flujos peatonales (Hoeven, 2014). Esto es de suma

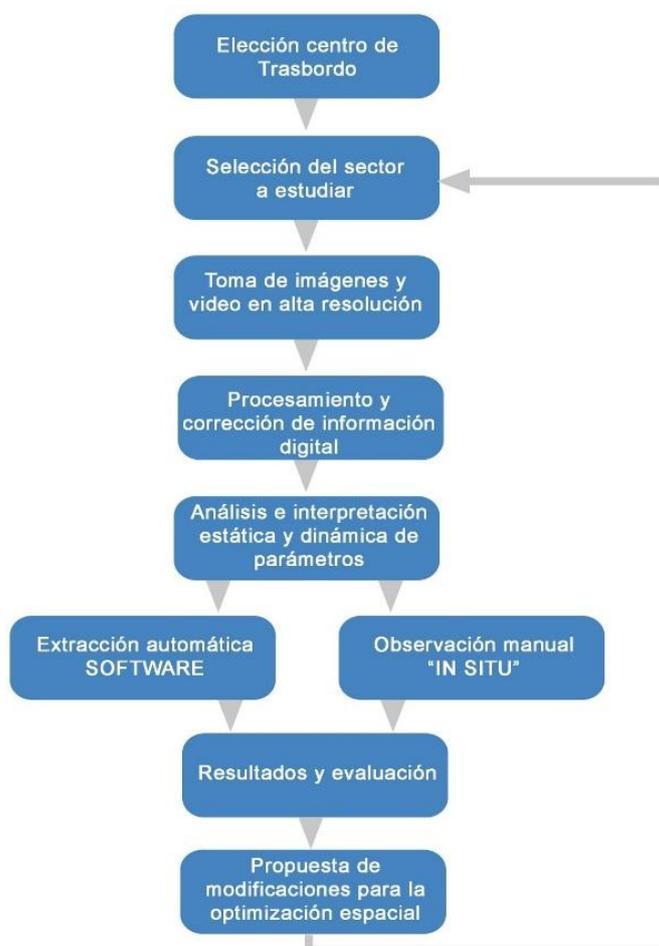
importancia ya que los estudios han dado lugar a la optimización de estos centros de trasbordo mediante el uso de tecnología de vanguardia.

En paralelo, recientes tecnologías han avanzado en lo concerniente a la modelización y microsimulación de la movilidad peatonal, brindando un entendimiento gráfico que potencia las imágenes como lenguaje de representación e interpretación de nuevas formas de ilustrar fenómenos que reflejan hábitos o conductas en los desplazamientos en la vía pública.

Contexto y metodología

Se describe a continuación el esquema metodológico posible para estructurar el análisis peatonal en infraestructura de transporte mediante visión artificial basado en el trabajo previo realizado con drones (De Candia et al, 2019).

Figura 2: Esquema metodológico propuesto



Elaboración propia CETAM

Elección del centro de trasbordo

Como marco teórico de referencia, tomamos la tipología de centros de transferencia basada en el análisis para el estudio RER (Orduna, 2001). Tanto para los casos de micro-transferencia como los de macrotransferencia, estos últimos basados en estaciones de centro de transbordo multimodales, podría aplicarse la metodología que a continuación se describe, sustentada en un caso de estudio como el seleccionado de la Estación Retiro de la Línea Mitre.

La investigación pretende dar continuidad a experiencias anteriores de análisis de comportamientos peatonales que sirvieron de pruebas piloto. En efecto, se realizó una investigación preliminar en el hall principal de Galerías Pacífico en CABA, siendo un espacio de características similares en hora pico, comparables con ciertos movimientos de magnitud a efectos de validar la efectividad de la tecnología aplicada.

La metodología define en primer instancia un universo de análisis entorno al caso de estudio. En el presente trabajo, se definió la estación Retiro como centro de trasbordo teniendo en cuenta su magnitud de pasajeros en el Área Metropolitana de Buenos Aires según datos de la CNRT. Particularmente en esta primera prueba piloto se realiza la investigación en el hall de acceso a la terminal ferroviaria de la línea Mitre recientemente remodelada.

La Estación Retiro de la Línea Mitre, junto con la de la Línea Belgrano y la de la línea San Martín, es uno de los tres edificios que poseen terminales de las líneas de ferrocarriles que parten desde la zona de Retiro.

La elección de la estación Retiro Mitre obedece al hecho de ser, por su nivel de complejidad, infraestructura de servicios y movimientos de pasajeros, uno de los nodos de integración modal de transporte urbano más importantes del área metropolitana. Además de la línea ferroviaria convergen las líneas C y E de subte y numerosas líneas de colectivos que ofrecen a los usuarios un abanico de posibilidades de transferencia hacia diferentes destinos de la ciudad y el resto del AMBA.

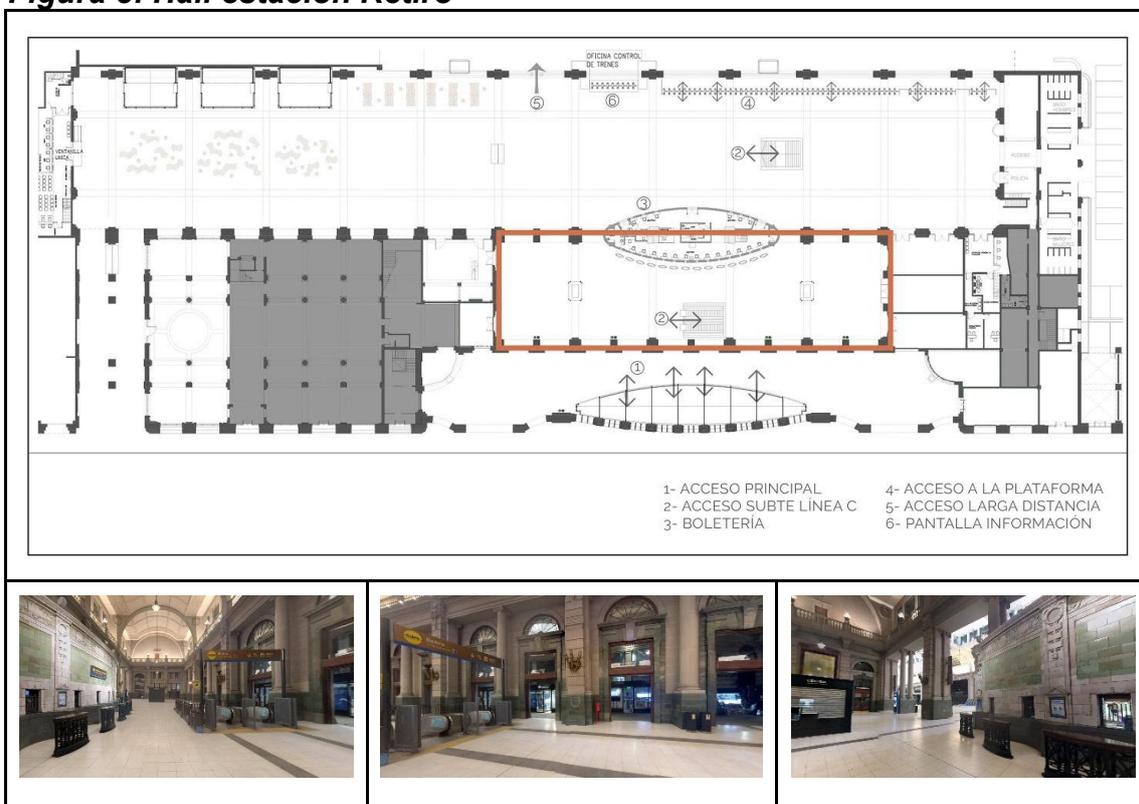
Y a su vez, por su localización estratégica en la ciudad, se posiciona muy próxima a la Estación Terminal de Ómnibus de transporte automotor de pasajeros de larga distancia.

Según datos de la Investigación de Transporte Urbano Público de Buenos Aires (INTRUPUBA) de la Línea ferroviaria Mitre, en la Estación Retiro se registran movimientos diarios del orden de los 39.715 pasajeros ingresados y 52.053, salientes.

Selección del sector a estudiar

En particular, se ha tomado como ámbito espacial de la investigación al hall central con sus dimensiones, características del espacio (accesos al subte, salidas exteriores, boleterías, locales comerciales, etc.) y otras ventajas para este tipo de experimento. También se toman en consideración particularidades de la circulación y sus variantes a lo largo del tiempo de análisis, con especial énfasis en las horas de mayor movimiento e interacción de los usuarios.

Figura 3: Hall estación Retiro



Elaboración propia CETAM

Toma de imágenes y video de alta resolución

Para una correcta obtención de imágenes se deben tener en cuenta determinados requisitos y parámetros: es importante considerar la distancia de los objetos monitoreados en relación al posicionamiento de la cámara, logrando una óptima altura e inclinación de la misma a fin de evitar obstáculos. Asimismo, es fundamental tener presente la calidad de la lente, evitando la distorsión y realizar la toma de imágenes en las condiciones de iluminación correctas. La resolución del video es otro aspecto clave que requiere atención

en base al software utilizado, para una mejor apreciación de detalle de la movilidad a observar.

Procesamiento y corrección de información digital

La información se analiza con la ayuda de software comercial apto para analizar y extraer parámetros de movilidad representativos de manera automática. La herramienta utilizada es capaz de analizar variables de la movilidad peatonal basadas en desarrollos de inteligencia artificial (AI) y video procesamiento de vanguardia.

De ser necesario se procesa y analiza la información obtenida aplicando las técnicas de estabilización y correcciones necesarias para lograr una óptima calibración del video, cumplimentando de este modo con los requisitos del *software* en relación al entorno en estudio.

Análisis e interpretación estática y dinámica de los parámetros

Una vez obtenidos los resultados del *software de procesamiento*, es necesario analizar y validar con los resultados de los patrones observados tanto *in situ* como con el video procesado. El monitoreo de aspectos estáticos y dinámicos incluye parámetros en relación a trayectorias, tiempos de espera, comportamiento de flujos peatonales y velocidades de circulación, entre otros.

Resultados y evaluación

El desarrollo de investigación en curso tomó como referencia el caso piloto realizado en Galerías Pacífico mencionado anteriormente, del cual se muestran los resultados en el siguiente punto. Los mismos son similares a los que se obtendrán en el estudio de la estación Retiro, que por la pandemia del COVID19 se encuentra demorado.

Propuesta de modificaciones para la optimización espacial

Partiendo de los resultados obtenidos, se podrán detectar deficiencias que permitirán efectuar recomendaciones de mejoras u optimizaciones de la configuración espacial del área del centro de trasbordo. Estos cambios en el diseño preexistente podrán ser nuevamente evaluados con capturas de imágenes actualizadas, recomenzando el ciclo metodológico propuesto.

Análisis e interpretación de los resultados

A partir de la información obtenida y procesada, se pretende un análisis pormenorizado de determinados aspectos representativos de la movilidad peatonal, entre los cuales se pueden citar los siguientes:

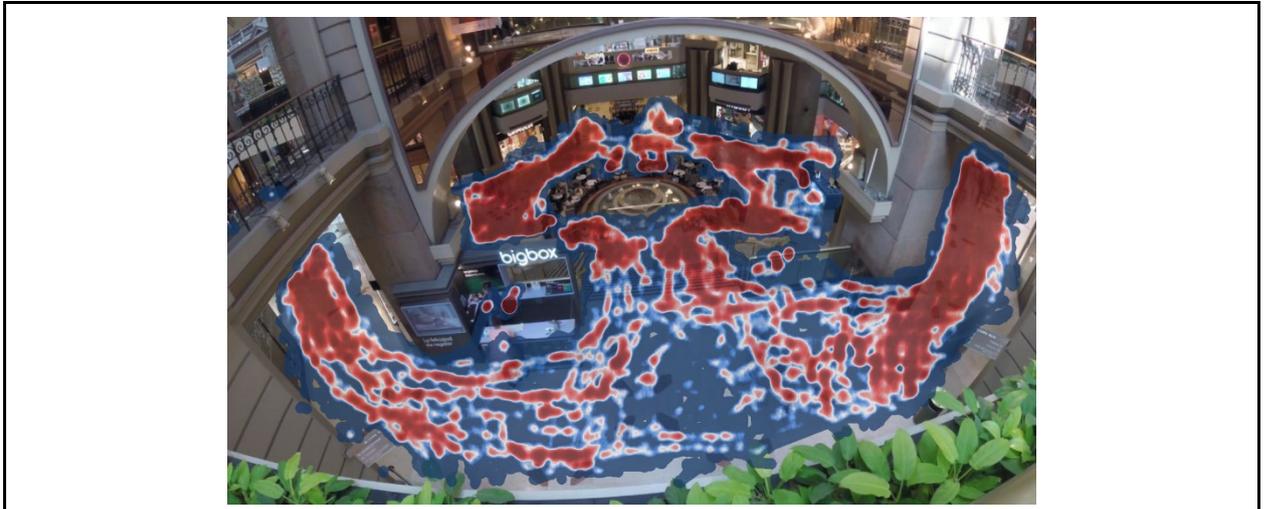
- Mapas de trayectorias
- Mapas de calor de ocupación
- Mapas de calor de aceleración y velocidades
- Mapas de tiempos de ocupación
- Clasificación de parámetros
- Gráficos con conteo de usuarios a lo largo del tiempo
- Tabulación de resultados

Con los resultados de los puntos precedentes, podemos balancear la relación entre la configuración de la movilidad y la configuración espacial. De esta forma, el producto final va a reflejar los defectos y virtudes del espacio observado, que luego servirá para formular recomendaciones proyectuales adecuadas al caso de estudio.

Figura 4: Hall principal de Galerías Pacífico. Resultados de imágenes procesadas



Mapa de trayectorias



Mapa de calor de desplazamientos



Gráfico de distribución de flujos

Elaboración propia CETAM mediante software Goodvision

Estos hallazgos pueden contribuir a la mejora de un centro de trasbordo y como consecuencia a la refuncionalización y obtención de parámetros para la optimización de la configuración espacial en ámbitos de movilidad masiva e intermodalidad del transporte.

De esta manera, se lograría una mejora en la experiencia peatonal del usuario que con frecuencia es un eslabón de una cadena cada vez más importante en los tramos de viaje de *commuters* del sistema de transporte metropolitano.

Esto a su vez permite un perfeccionamiento general del sistema en un punto crítico de ruptura de viajes como es un centro de trasbordo, en el cual abandonar un modo y dirigirse hacia otro debería ser contenido por un espacio funcional, accesible, seguro y acorde con las características del entorno.

Conclusiones

Tal lo desarrollado, la tecnología brinda como complemento a técnicas tradicionales de relevamiento y observación, un importante paso en su eficiencia, aportando mayor rigurosidad científica y nuevos insumos para un diagnóstico que sirva de base a mejoras proyectuales para centros de trasbordo. Así, estas metodologías permiten advertir deficiencias o virtudes en las infraestructuras masivas de transporte, tal como lo venimos experimentando a otras escalas en los proyectos UBACYT con sede en el CETAM desde el año 2003.

Sin embargo, las herramientas y procedimientos descritos tienen limitaciones de índole tecnológico por su reciente aparición en el mercado de las técnicas de visión, basadas en inteligencia artificial: entre ellas la disponibilidad para su adquisición y su uso apropiado aplicado a la movilidad. Las mismas son cuestiones que en el corto y mediano plazo van a tender a resolverse. Los menores costos de estas tecnologías brindan más posibilidades para seguir avanzando tanto en áreas de transporte como en otras áreas del planeamiento urbano: vamos hacia un futuro cada vez más sensorizado que permite conocer más a fondo la movilidad a escala peatonal.

La herramienta tiene la particularidad de no detallar las posibles restricciones referidas a aspectos de privacidad y otras cuestiones legales que interdisciplinariamente convendría estudiar con mayor rigurosidad.

Además, la situación de pandemia por el COVID-19 que se presenta a nivel mundial, abre un escenario propicio para la utilización de estas tecnologías. En un marco donde el distanciamiento social, preventivo y obligatorio, o mejor dicho el distanciamiento espacial es esencial, es importante poder diseñar y verificar las infraestructuras en muchos casos, temporales, que permiten la separación entre personas.

En definitiva, la metodología basada en estas herramientas tecnológicas, nos sirve para continuar indagando y buscando alternativas de comprensión de la dinámica peatonal aplicada a la intermodalidad en espacios de trasbordo de flujos masivos de movilidad.

Queda de ahora en más la posibilidad de continuar esta aplicación en otros centros de trasbordo y otros espacios no solamente al interior de los edificios, sino también al espacio público del entorno general de los mismos.

Bibliografía

- Alitajern, S., Nojoumi, G.; (2016). *Privacy at home: Analysis of behavioral patterns in the spatial configuration of traditional and modern houses in the city of Hamedan based on the notion of space syntax*
- Bag, J., Durg, A.; (2012). *The architectural spaces and their psychological impacts*
- Choi, E.; (2013) *Understanding walkability: dealing with the complexity behind pedestrian behavior*
- Clements-Croome, D.; (1997). *What do we mean by intelligent buildings?*
- Drazen Brscic, Takayuki Kanda, Tetsushi Ikeda, Takahiro Miyashita; (2013). *Person Tracking in Large Public Spaces Using 3-D Range Sensors*
- Emo, B.; (2014). *Real-World Wayfinding Experiments*
- Ewing, R., Handy, S.; (2009). *Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability*
- Fod, A., Howard, A., Mataric, M.; (2002). *A Laser-Based People Tracker*
- Gartner, A. (2012) *Estudio sobre Centros de Transbordo Urbanos de Pasajeros en el Área Metropolitana de Buenos Aires*. Universidad Tecnológica Nacional, Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial, UTN. Buenos Aires
- Gehl, J. (2014) *Ciudades para la gente*
- Gehl, J. Svarre B. (2013) *How To Study Public Life*
- Gehl, J. (2011) *Life Between Buildings*
- Hoeven, F., Nes, A.; (2014). *Improving the design of urban underground space in metro stations using the space syntax methodology*
- INTRUPUBA (2007): *Investigación de transporte urbano público de Buenos Aires*, Secretaría de Transporte, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios

-
- Lioulemes, A., Papakostas, M., Gieser, S., Toutountzi, T., Abujelala, M., Gupta, S., Collander, C., Mcmurrough, C., Makedon, F.; (2016). *A Survey of Sensing Modalities for Human Activity, Behavior, and Physiological Monitoring*
 - Oh, S., Park, S., Lee, S.; (2007). *Vision Based Platform Monitoring System for Railway Station Safety*
 - O'Neill, M.; (1991). *Evaluation of a conceptual model of architectural legibility*
 - Orduna, M.; (2001). *Red de Expreso Regional.*
 - Orduna, M., Otero. (2019) *Consideraciones para la conceptualización de los viajes a pie*, en *Mobilitas III*. Buenos Aires, CETAM, p.42-50.
 - Orduna, M., De Candia, C., Raggio, N.; (2019). *Uso de imágenes de drones para el análisis de la infraestructura de la movilidad urbana peatonal*
 - Tomé, A., Kuipers, M., Pinheiro, T., Nunes, M., Heitor, T.; (2015). *Space-use analysis through computer vision*
 - Townsend, E., Zacharias, J.; (2010) *Built environment and pedestrian behavior at rail rapid transit stations in Bangkok*
 - Tzortzi, K.; (2010) *The art museum as a city or a machine for showing art?*
 - Virgona, A., Kirchner, N., Alempijevic, A.; (2015). *Sensing and perception technology to enable real time monitoring of passenger movement behaviours through congested rail stations*
 - Weisman, J.; (1981). *Evaluating architectural legibility*
 - Whyte W. H. (1988) *City: Rediscovering the Center*
 - Whyte W. H. (1980) *The Social Life of Small Urban Spaces*
 - Yi, S., Li, H., Wang, X.; (2016). *Pedestrian Behavior Modeling From Stationary Crowds With Applications to Intelligent Surveillance*
 - Zhao, X., Dellandréa, E., Chen, L.; (2009). *A People Counting System based on Face Detection and Tracking in a Video*
 - Zhao, H., Shibasaki, R.; (2005). *A Novel System for Tracking Pedestrians Using Multiple Single-Row Laser-Range Scanners*