

# ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES PARA EL USO DE DRONES (UAV) EN ESTUDIOS DE MOVILIDAD

Stefan Steiniger<sup>1,5\*</sup>, Juan Carlos Herrera<sup>2,5</sup>, Sergio González<sup>3,5</sup>, Rodrigo Mora<sup>4,5</sup> y Juan Carlos Muñoz<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

<sup>3</sup> Universidad de Concepción, Chile

<sup>4</sup> Universidad de Chile, Chile

<sup>5</sup> CEDEUS, Chile

---

\*Autor para  
correspondencia:  
[stefan.steiniger@pucv.cl](mailto:stefan.steiniger@pucv.cl)

## RESUMEN

El desarrollo de drones de pequeño tamaño y equipados con una cámara de video ha abierto la puerta a nuevas formas de observar la movilidad. Además de la inspección visual de los videos tomados desde el aire, también se hace posible la recolección de datos de tráfico, como conteos, velocidades, tiempos de viaje, o la definición de pares origen-destino. Con un costo de adquisición y gestión alcanzable surge la necesidad de evaluar sus reales ventajas y limitaciones. En un proyecto de planificación de transporte para un barrio de la ciudad de Santiago, Chile, se utilizó un dron para medir flujos vehiculares y peatonales en las vías principales. El análisis post-estudio destaca limitaciones en el uso de drones por restricciones en el tiempo de vuelo, la necesidad de permisos en áreas urbanas, y limitaciones meteorológicas. Por otro lado, los videos han permitido el conteo de flujos de camiones, buses, transporte privado, bicicleta, y caminata, aunque durante una ventana de tiempo acotada. Así, esta tecnología permite acceder a diagnósticos iniciales sobre el uso del espacio en el tiempo (velocidad, tiempos de viajes, etc.), para lo cual la inversión de costo-tiempo para la planificación y ejecución de vuelo es razonable.

**Palabras clave** dron, UAV, RPAS, flujos viales, partición modal, planificación de transporte

## ABSTRACT

*The development of small drones equipped with a video camera has allowed the observation of mobility patterns in new ways. Besides visual evaluation of drone videos taken from the air, it is also possible to derive traffic data such as counts, speeds, travel times, or the definition of origin-destination pairs. Considering the UAVs reasonable acquisition and management costs, there is a need to evaluate benefits and limitations. In a transportation planning project carried out in a particular neighbourhood of Santiago, Chile, a drone was used to measure vehicular and pedestrian flows on local main roads. From our post-study analysis, limitations emerge for the use of drones, which are related to flight time restrictions, a need for permits in urban areas, and meteorological flight restrictions. On the other hand, the drone videos allowed us to count flows of trucks, buses, cars, bicycles, and walking, although during a short period. Hence, the technology allows to obtain a quick, preliminary assessment of the use of street space over time, considering a reasonable investment of time and money for flight planning and execution.*

**Keywords** *drones, UAV, RPAS, traffic flows, transportation mode share, transport planning*

---

---

## 1. INTRODUCCION

Desde mediados de la década de los años 2000 están disponibles los micro drones, como vehículos aéreos no tripulados de pequeño tamaño (< 5 kg), los cuales ya permitían tomar fotos de alta resolución (Eisenbeiss, 2004; Hardin y Jackson, 2005; Puri, 2005; Lucieer et al., 2010). Los avances tecnológicos han permitido que los drones, también conocidos por su sigla en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), ya no solo vengan equipados con una cámara que permite hacer fotos de alta resolución, sino también, la posibilidad de capturar videos de alta resolución (Kanistras et al., 2013; Salvo et al., 2014). Una gran demanda de aficionados y profesionales ha permitido la producción industrial de los micro UAV, lo que ha llevado sus precios a niveles accesibles. Por ejemplo, en el año 2024, un modelo profesional como el DJI Mavic 3 Pro tenía un precio aproximado de USD 2.500. Esta situación ha permitido utilizar y evaluar los micro UAV como una herramienta en áreas tan diversas como la cinematografía (Mademlis et al., 2019), el mapeo topográfico (Nex y Remondino, 2014), la investigación ecológica (Wallace et al., 2012; Harris et al, 2019), juegos competitivos (Madaan et al., 2020), la ingeniería civil (De La Torre-Molina, 2021) y, por supuesto, el transporte (Kanistras et al., 2013; Salvo et al., 2014; Barmounakis et al., 2016; Butilá y Boboc 2022).

El objetivo del presente trabajo es de explorar las ventajas y limitaciones en el uso de UAV para el levantamiento de datos de movilidad urbana a escala de barrio. Los enfoques del análisis son por un lado aspectos técnicos y por el otro lado aspectos legales. Para abordar lo anterior el estudio de flujos de los distintos modos de transporte en un barrio de la ciudad de Santiago de Chile permite hacer esta evaluación. Con esto, el trabajo contribuye al conjunto reducido de publicaciones latinoamericanas relacionadas, explora aspectos de la norma chilena y evalúa la utilidad de UAV para obtener una “fotografía” de la movilidad urbana en un área que incluye varias calles.

En revistas científicas inglesas se ha publicado una amplia gama de estudios sobre el uso de UAV en temas de movilidad y transporte. Una de las primeras publicaciones que revisa estos estudios ha sido publicado por Kanistras et al. (2013). Los trabajos analizados pertenecen al tema de monitoreo de tráfico, pero tienen objetivos bien diversos, como por ejemplo: (i) detectar (y mapear) pistas en carreteras, (ii) determinar parámetros de tráfico (ocupación, capacidad de flujo y densidad de vehículos en carreteras), (iii) detectar vehículos sin movimiento, y (iv) realizar un seguimiento vehicular. Adicionalmente (v), Kanistras et al. (2013) discuten un proyecto con un enfoque en la detección y conteo de vehículos - una aplicación similar al trabajo presentado en este artículo. Cabe mencionar que Kanistras et al. (2013) identifica la necesidad de cumplir a las regulaciones del tráfico aéreo (por la agencia FAA en EE.UU.) y las normas de comunicación (FCC) como un impedimento para la investigación con drones. Sin embargo, los autores concluyen que la maniobrabilidad y la comunicación inalámbrica son dos puntos clave que hacen a los UAVs más útiles que otros métodos para el monitoreo de tráfico.

Por otra parte, Barmounakis et al. (2016) analiza de igual forma trabajos existentes con micro y mini UAVs (< 25kg), distinguiendo entre aplicaciones: (i) monitoreo y gestión de tráfico en el contexto de Sistemas de Transporte Inteligentes (STI); (ii) logística (a modo de delivery-reparto); (iii) inspección y mantención de carreteras (en conjunto con aplicaciones de Percepción Remota); y (iv) otras aplicaciones (inspección de puentes, uso en agronomía, etc.). También se compara el uso de UAV con el uso de Vehículos Aéreos Tripulados (sigla en inglés: MAV) y el uso de cámaras estáticas, destacando por un lado que el tamaño de los UAV permite

llegar a lugares inaccesibles para un MAV, por ejemplo, una zona urbana con edificios altos. Por otro lado, y comparando el uso de UAV con cámaras estáticas, se destaca la flexibilidad para grabar y analizar “eventos extremos” (como accidentes) desde distintas perspectivas. Igualmente se valora positivamente la característica de un despliegue rápido – en pocos minutos - en áreas suburbanas y rurales cuando hay necesidades. Al igual que Kanistras et al. (2013), los autores apuntan a los desafíos en la regulación en temas de seguridad y privacidad, y concluyen que las limitaciones tecnológicas van a determinar el ritmo de los avances en el uso de UAVs.

La revisión realizada por Butilă y Boboc (2022) presenta un análisis cualitativo de 34 artículos, publicados entre 2014 y 2021, que usan micro UAVs para el análisis o el monitoreo de tráfico. Para cada artículo se informa sobre el tipo (y modelo) de UAV, resolución y duración de video, mediciones utilizadas, tipo de vehículo o modo, y software o algoritmos utilizados. Los autores ordenan los artículos según propósito, identificando un total de 19. Los propósitos con más publicaciones registradas tienen un enfoque en la detección de vehículos (6) y de extracción de sus trayectorias (5). En sus análisis Butilă y Boboc (2022) revelan el estado del arte técnico y la información que se puede extraer desde videos. Igualmente se discute brevemente las limitaciones regulatorias por razones de seguridad o privacidad en el uso de UAVs en Estados Unidos, Canadá, y Unión Europea, entre otros.

En lo relativo a modos de transporte activo, el análisis de Butilă y Boboc (2022) lista solo 3 artículos. Entre ellos está el trabajo de Barmounakis et al. (2019), en el cual se observan velocidades y trayectorias de vehículos y peatones. Por otra parte, está el trabajo de Chen et al. (2019), en el cual se analizan conflictos entre vehículos y peatones en cruces. Por último, se encuentra la publicación de Wan et al. (2019), la cual se enfoca en la detección y seguimiento de objetos. Ninguna de las 34 publicaciones incluye la detección de bicicletas. Sin embargo, hay un trabajo que evalúa uso de “motorbikes” y “riskhaws” (Ahmed et al., 2021) y otro que estudia sobre la extracción de trayectorias de “motorcycles” y “scooters” (Barmounakis et al., 2018).

Adicionalmente, se pueden encontrar tres otros artículos que se enfocan a modos activos (y pasivos). El primero es de Park y Ewing (2018), en donde se experimenta con un UAV para observar peatones en Salt Lake City, Utah, EE.UU. En este experimento se realizó un vuelo de ida y vuelta por 26 cuadras, a una velocidad de vuelo de 1,8 m/s y a una altura de 15-20 metros. Los resultados fueron analizados en base al conteo de las personas, registrando sus perfiles demográficos (sexo y grupo de edad) y su modo (peatones sin asistencia, peatones con asistencia, ciclistas). Los autores concluyen que este método funciona bien para contar peatones según sus características demográficas. La comparación con el método de observación tradicional, en base a los tiempos involucrados, desemboca en un flujo de trabajo con mayor demora para el uso de UAV por la evaluación de los videos de forma manual. Finalmente, apuntan a problemas de seguridad, ética y privacidad en el levantamiento de datos mediante UAV. El segundo trabajo, presentado por Orduna et al. (2019), discute el aporte de los UAV en el análisis de la movilidad peatonal y utiliza la metodología propuesta por De Candia et al. (2018). Sin embargo, el trabajo no presenta resultados finales. El tercer artículo es el de Parra-Ovalle et al. (2023), el cual como en Park y Ewing (2018), usan un dron a una altura de solo 25m y una velocidad de 6 km/h para observar actividades en algunas calles en Santiago de Chile. Este trabajo analiza las actividades de las personas observadas y no solo se enfoca en peatones, sino también se evalúan modos activos y pasivos, incluyendo a ciclistas, scooter, y silla de rueda.

---

La revisión bibliográfica realizada muestra por un lado el avance tecnológico de los UAVs en el último quinquenio. Por otro lado, muestran que los UAV pueden ser usados para registrar flujos de movilidad a nivel de calle, considerando la diversidad de modos. Sin embargo, emerge igualmente que los UAV son una herramienta poco incorporada aún en estudios en Latinoamérica, y en consecuencia, sus ventajas y limitaciones son escasamente conocidas. Así, el objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento de las reales capacidades de esta tecnología para su uso en estudios de movilidad, y resaltar aspectos que requieren atención en el uso práctico.

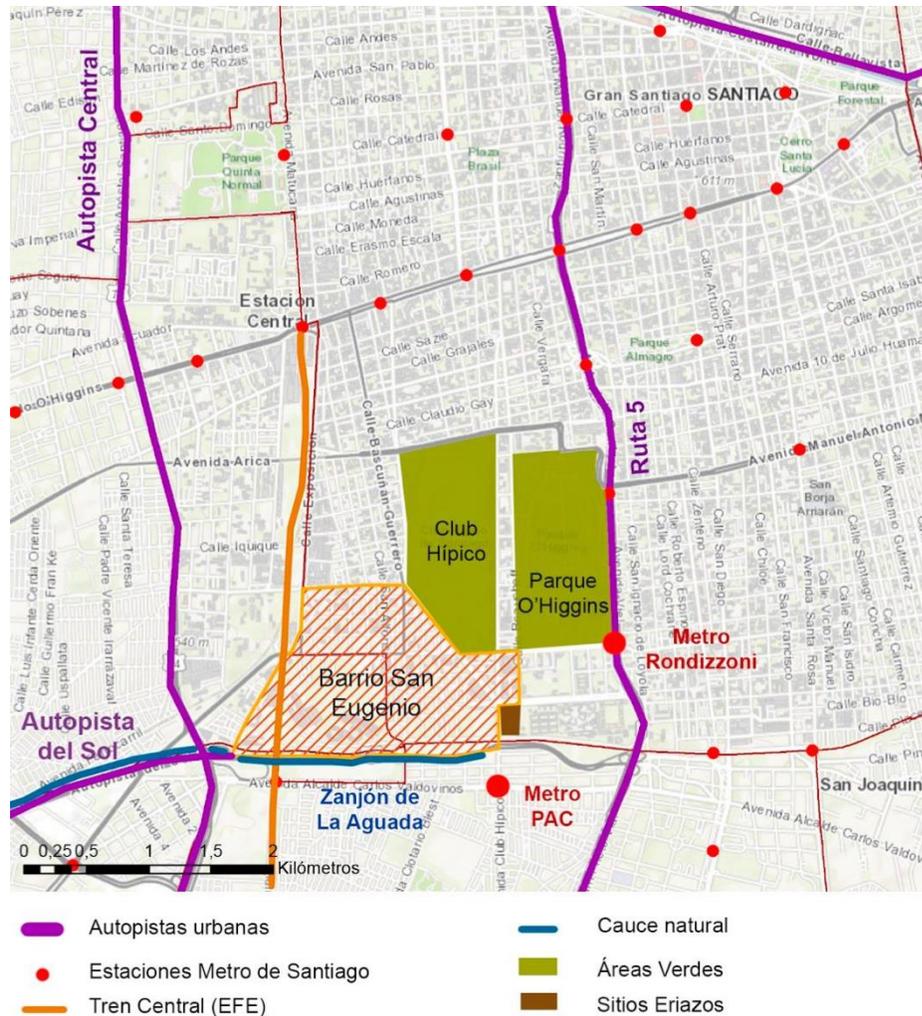
En la sección siguiente se detallará el estudio con sus objetivos, preguntas de investigación, métodos y resultados. Luego, se dará respuestas a las preguntas de investigación. Por último, se expondrán algunas recomendaciones para el uso de drones en estudios de movilidad.

## **2. ESTUDIO DE EVALUACION DE FLUJOS EN UN BARRIO DE SANTIAGO DE CHILE**

El estudio que se presenta en adelante nació en 2018 cuando la Municipalidad de Santiago de Chile y el Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS) - un centro de investigación científica - acordaron iniciar una colaboración para ejecutar un diagnóstico y proceso colaborativo con vecinos para la implementación del *Plan Integral de Movilidad* en el barrio de San Eugenio (CEDEUS, 2019). El barrio San Eugenio, ubicado en el centro sur de la comuna de Santiago (Figura 1), nació a finales del siglo XIX alrededor de una maestranza de la *Empresa de los Ferrocarriles del Estado* (EFE) y cuenta hoy en día con una población de aproximadamente 10.500 personas (INE, 2018). La población del barrio tiene acceso a dos estaciones de metro ubicados en otros barrios cercanos (Metro Pedro Aguirre Cerda, y Metro Rondizzoni). Considerando modos y flujos esperados se puede identificar tres calles principales en dirección Norte-Sur (Exposición, Bascuñán Guerrero, y Av. Mirador), con flujos importantes hacia y desde el centro de Santiago, y dos calles principales con dirección Oriente-Poniente (Antofagasta, y Ramon Supercasaux). Además, existen múltiples bodegas y talleres, la casa matriz de un canal de televisión nacional, dos colegios, y un estacionamiento de buses de transporte público.

### **2.1 Objetivos y contexto del estudio**

El diagnóstico solicitado requirió, entre otros elementos de estudio, un análisis de flujos en las principales calles que atraviesan el barrio, para luego proponer un rediseño vial que debe promover modos sustentables como la caminata, uso de bicicleta y uso de transporte público (CEDEUS, 2019; Sagaris et al., 2017). Así, el objetivo era medir y analizar los flujos existentes en el barrio, incluyendo modos activos y motorizados. Las observaciones de modos y sus flujos, en conjunto con datos adicionales recolectados (encuesta de hogar, entrevistas con vecinos, caminatas con vecinos, y mapeos participativos), fueron luego utilizados para desarrollar un plan de rediseño vial para el barrio (CEDEUS, 2019; Vecchio et al., 2020; Steiniger et al., 2022).



**Figura 1** El Barrio San Eugenio en la Ciudad de Santiago de Chile. Autor: Roxanna Rios, CEDEUS.

Dada la falta de datos detallados y actuales, se consideraron dos métodos para su levantamiento: (a) mediciones de flujos a través de equipos en base al conteo de personas y vehículos en puntos seleccionados, y (b) el uso de un micro dron (< 5 kg) para grabar las actividades viales y posteriormente inspeccionar los videos de forma manual. Considerando la necesidad de medir los flujos para múltiples ejes de transporte al mismo tiempo (durante el mismo horario punta o valle) y una estimación de costos para el levantamiento de datos por múltiples equipos, se decidió experimentar con un micro UAV (peso aprox.: 1,5 kg) para evaluar posteriormente los videos y la utilidad del método. Debido a que los miembros del equipo no tenían la experiencia necesaria en el uso de drones para la medición de flujos, se realizaron solo unos vuelos de aprendizaje. Derivado de lo anterior surgieron las siguientes preguntas de investigación: (1) Grabando con un micro UAV, ¿es posible identificar todos los tipos de modos principales en las principales calles del barrio San Eugenio? (2) ¿Es posible grabar con un micro UAV durante un mismo horario las actividades para distintas calles principales del barrio? (3) ¿Se puede contar los flujos para los modos activos de caminata y bicicleta mediante la inspección de los videos? y (4) ¿Cuáles son las restricciones de uso de drones para emplearlos en estudios de transporte urbano?

## 2.2 Planificación y Ejecución

### 2.2.1 Planificación

Con el objetivo de evaluar flujos para distintos modos, es necesario grabar por un tiempo un tramo vial elegido desde una posición fija. Según el *Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana* (MESPIVU – SECTRA, 2013), para obtener cálculos de flujos representativos, los conteos deben ser efectuados por 15 minutos (ideal en múltiples ocasiones) y ejecutado en días de la semana y horarios representativos. Entonces, para obtener datos que se ajustaran a estas condiciones, se decidió grabar flujos durante tres horarios: en punta mañana (7:30 a 9:15), valle (11:45 a 14:00), y punta tarde (17:00 a 18:15), para un día jueves. Considerando la temporada de invierno los horarios fueron ajustados según la disponibilidad de luz de día, ya que el dron no debe volar en oscuridad, porque el piloto del UAV debe tener contacto visual con el dron.

Para medir los flujos de las calles principales y laterales (solo algunas) del barrio, se determinaron siete puntos de observación de grabación estática del dron (Figura 2). En este contexto, se especificó que se debe grabar desde una altura de vuelo de aprox. 130 metros y teniendo la cámara en un ángulo oblicuo, lo cual permitió ampliar el área visible hasta al menos una cuadra en comparación con una vista vertical.



**Figura 2** Puntos de grabación de flujos con flechas indicando la dirección de la cámara. Punto “C” marca el lugar de recarga de baterías, la Parroquia, facilitado por vecinos.

El micro UAV utilizado para las observaciones de tráfico es un modelo *off-the-shelf*, es decir sin modificaciones, y corresponde al modelo *Phantom 4 Profesional* de la marca DJI. Algunas especificaciones técnicas importantes del equipo son: cámara incorporada con gimbal para su estabilización (suspensión cardan); posee una resolución de 4096 x 2160 pixel (4K) (espectro visible); peso de la aeronave de 1,4 kg; y duración de batería de hasta 30 minutos de vuelo (DJI, 2024).

La duración de 30 minutos de la batería es válida para las condiciones de fábrica y bajo condiciones climáticas ideales. En la práctica hay que considerar tiempos para el posicionamiento del dron en el lugar de observación y para el retorno al lugar de despegue, vientos que pueden variar fuertemente a distintas condiciones de altura y ubicación, y una reserva para eventos imprevistos. Con esto se debe planificar un tiempo efectivo de grabación de no más de 22 minutos para el modelo Phantom 4. Tomando entonces en consideración: (i) los 7 puntos de observación, (ii) el tiempo disponible para el horario punta, (iii) las limitaciones de batería, (iv) condiciones meteorológicas favorables, y (v) experiencias de un vuelo de prueba anterior (en otro lugar), se decidió que el tiempo de observación por cada posición y dirección de visión debe ser aproximadamente de 6 a 7 minutos. El plan final de vuelo fue desarrollado en base a estos 6 a 7 minutos, tiempos de traslado y posicionamiento, y la disponibilidad de 4 baterías que permitieron abordar 4 puntos por horario punta y 5 en horario valle. Los tiempos de pausa entre los horarios fueron previstos para recargar las baterías y respaldar los datos.

### **2.2.2 Ejecución**

Gracias a condiciones meteorológicas favorables, los vuelos y grabaciones se ejecutaron en solo un día (jueves 9 de agosto del 2018). Se hicieron ajustes en el posicionamiento del UAV para tener mejores vistas de cruces o tramos de calles, ya que no era posible evaluar las vistas desde el aire pre-vuelo. Además, durante las primeras grabaciones se decidió que un tiempo de 5,5 min puede ser suficiente para cada posición, si están revisitados en el horario punta de la tarde. Gracias a esto se ahorró batería-tiempo junto con la posibilidad de agregar un nuevo punto (en Figura 2, denominado punto No. 6), y se logró grabar desde otros puntos en más direcciones. Este extra en flexibilidad permitió grabar flujos “inesperados” (como por ejemplo peatones a la hora de almuerzo, o salidas de colegio). Cabe mencionar que cada video de 5,5 min en alta resolución tiene un tamaño de 4,1 GB.

### **2.3 Análisis de Videos y Datos Obtenidos**

Los videos fueron analizados en computador de escritorio mediante interpretación visual por un analista no entrenado. Se identificaron flujos para los modos bus (transporte público), camión, auto y bicicleta (Figura 3). No hubo un enfoque en motos, pero tal como las bicicletas, igualmente es posible identificarlas en los videos. El caso de los peatones representa una mayor dificultad para el analista debido a los movimientos más lentos y el tamaño (pocos pixeles) que representan. Además, los peatones solo son identificables cuando están en movimiento. Las personas sentadas en un parque son casi indetectables por el ojo humano (Figura 4). Sin embargo, pueden ser identificados mediante el uso de algún software.

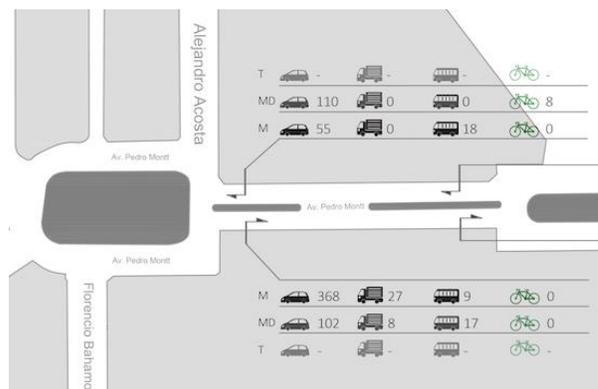
Similar a lo que observaba Bernal-Giraldo (2016), el uso de software, como por ejemplo *Smart Traffic Analyzer* (STA, Picomixer) o *DataFromSky.com*, permite no solo contar flujos por modo, sino que también extraer otras características del tráfico motorizado desde los videos de alta resolución. Estas características pueden ser utilizadas en la calibración de parámetros de algunos software de simulación de tráfico. La extracción es factible para (ver Figura 5): velocidades por tipo de vehículo y pista, largo de cola, orígenes y destinos (rutas), porcentaje de virajes, ocupación por pista, tiempos de detención de buses en paradas, cambios de pistas, entre otros.

Ejemplo de resultado de conteo por una ubicación (vehículos por hora)

5- FLUJO DE MAÑANA - SECTOR CALLE R. SUBERCASEAUX (1 Hora)



Mapa con flujos en detalle



**Figura 3** Resultados de análisis de modos y conteos de flujo en base de grabaciones de video.



**Figura 4** La identificación de peatones de forma visual en los videos requiere buena atención del analista y que las personas estén en movimiento (marcado en círculos A y B). Personas en el parque son casi indetectable (circulo C).

### 3. ANÁLISIS POST-ESTUDIO

La primera parte del análisis de la experiencia en San Eugenio da respuestas a las preguntas de investigación 1, 2 y 3 sobre la posibilidad de realizar conteos de flujos para distintos modos a nivel de barrio. Luego se abordan las restricciones en el uso de drones y se finaliza con los beneficios encontrados.

### 3.1 Respondiendo a las Preguntas de Investigación: utilidad de UAV para determinar flujos de distintos modos en un barrio

La primera pregunta de investigación ha sido sobre la posibilidad de identificar todos los modos principales a nivel de barrio, incluyendo modos motorizados y no-motorizados. La respuesta tiene dos partes. Primero, la altura de observación (130 metros) y la resolución de la cámara (en píxeles) juega un rol importante, definiendo la posibilidad de detección de modos. Segundo, el analista ha sido posible identificar los modos principales (los más utilizados), con la excepción de la caminata (en general los modos “lentos”). Es decir, se pudo identificar camiones, buses, autos y bicicletas. Se asume que las motocicletas se pueden identificar de la misma forma que las bicicletas como han mostrados los trabajos de Barmounakis et al. (2018) y Ahmed et al. (2021). Los peatones también son identificables, pero cuesta encontrarlos en el video. Otro factor ha sido que los peatones no necesariamente caminan de forma homogénea (recta y constante), siguiendo la acera de un cruce al otro. Caminatas no homogéneas (*jaywalking* en inglés) se puede observar especialmente cuando las calles son más pequeñas y existen plazoletas (ver Figura 4).



**Figura 5** Grabación de video con el UAV DJI Phantom 4 desde una altura de 130m de un área con edificios de baja altura, permitiendo la extracción de parámetros de tráfico como velocidades, largo de colas, ocupación de pistas, porcentaje de virajes, entre otros.

¿Es posible observar las actividades, o flujos de las calles principales de un barrio durante un mismo horario con un UAV? Esta es la segunda pregunta de investigación. En el caso de San Eugenio fue posible grabar desde 7 diferentes puntos durante el horario punta (mañana), por el tiempo acotado de grabación (5,5 min) y por las distancias cortas entre los puntos de observación. Sin embargo, queda la duda si esto igual es posible en otros tipos de barrios. Por ejemplo, en lugares donde existen edificios altos que puedan bloquear la visión.

La respuesta a la tercera pregunta de investigación (¿Se pueden contar los flujos para los modos activos de caminata y bicicleta observando los videos?) es parcialmente positiva, pues es posible

---

contar flujos para bicicletas, pero el conteo de peatones es menos confiable. En efecto, el conteo depende de la altura del dron y también de la distancia al cruce objetivo (ver Figura 5). Al bajar la altura del UAV, como lo hecho por Park y Ewing (2018) y Parra-Ovalle et al. (2023), o si se evalúa solo el cruce más cercano asumiendo “pocos” peatones a la vez, es posible sin demasiada dificultad el conteo de flujos por un analista. En relación a lo último, experimentos de registro y seguimiento de peatones en videos a través de la plataforma DataFromSky son prometedores (DataFromSky 2023). Cabe notar que para evaluar flujos de peatones en relación al transporte público puede ser importante aumentar el tiempo de grabación a 15 minutos, porque la frecuencia de aparición de peatones va a depender de la frecuencia de este servicio.

### 3.2 Limitaciones en el uso de UAV

La cuarta pregunta de investigación ha sido sobre las restricciones en el uso de drones para estudios de transporte urbano. El que sea un área *urbana*, o más bien *poblada*, es relevante debido a que en Chile y otros países se hace una diferencia entre áreas pobladas y no-pobladas, ya que para las primeras se deben cumplir con ciertos requisitos y permisos de vuelo por razones de seguridad (DAN 91 -párrafo 102-, DGAC 2023a; DAN 151, y DGAC 2024). Otra diferencia es la que existe para los vuelos en áreas pobladas con drones de un peso menor a 750g fabricados con polietileno. Para estos RPA (denominación ocupada en la norma) no se requiere autorización previa de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) bajo las condiciones de una altura máxima de vuelo de 50 metros, con fines de uso y en lugares privados (DAN 91.102j). Las normas de la DGAC también establecen que los RPAS usados deben ser inscritos en el registro de la DGAC (teniendo además un seguro, tal como lo tendría un auto), y que el piloto debe contar con una licencia/credencial para RPAS (DAN 151 y DAN 119, DGAC 2023b, DGAC 2024).

Otras limitaciones que encontramos durante la planificación y ejecución de los vuelos en el estudio fueron los siguientes:

- Un vuelo no alcanzó a entregar más de 22 minutos de video continuo, por limitaciones de batería, peso de UAV y condiciones meteorológicas (vientos, calor y heladas). Por esta razón la norma DAN 151.103h (DGAC 2024) especifica un tiempo máximo de vuelo de 80% de la autonomía máxima del UAV y como límite superior total de 60 minutos. Sin embargo, nuevos modelos de micro UAV para el uso profesional, similar al Phantom 4, tienen una mayor autonomía que alcanza hasta 40 minutos (modelo DJI Mavic 3). Mediciones continuas o por más tiempo de observación requieren interrupciones por cambio de baterías, a menos que se cuente con un segundo dron y operador para continuar de forma alternada, existirán ventanas de tiempo en que no se registrarán datos. Esto último puede ser determinante en muchos casos.
- Vuelos en áreas pobladas están bajo el alero de la norma DAN 151 (DGAC 2024) y requieren (caso a caso) un permiso de la dirección aeronáutica (DAN 91.102) - incluyendo una justificación - declarando un interés público y las zonas de vuelo, evitando sobrevolar sobre personas, lo cual aumenta los costos y (eventualmente) los plazos para la planificación.
- Vuelos en áreas pobladas igualmente requieren siempre una línea de vista libre entre el piloto y UAV (DAN 151.103f), por ende, volar con luz de día (DAN 151.103g-10). Esto puede limitar la selección de puntos de observación y restringir ciertas maniobras. Solo para fines especiales se puede volar recorridos programados en forma autónoma (DAN 151.103e).
- La altura máxima de vuelo de 120 metros (DAN 151.103g-11) limita el área de vigilancia a aproximadamente 1.5 x 1.5 cuadras (ver Figura 5). No obstante, un vuelo a mayor altura no

siempre es ventajoso, ya que puede dificultar la detección y seguimiento de vehículos y personas.

- Hay que considerar en la planificación de los vuelos las condiciones meteorológicas, como vientos, precipitaciones, niebla y temperatura del aire, las cuales no solo pueden afectar el vuelo, sino que también la visión que se tenga de la aeronave (ver también DAN 151.103c). Esto significa que los planes de vuelo deben ser flexibles, pero en ciertas zonas o temporadas pueden ser impracticables.

Considerando las limitaciones dadas por las normas DAN de la DGAC parece ser difícil ejecutar vuelos para estudiar el tráfico sin aporte profesional o de una institución pública. A esto hay que agregar los puntos ya mencionado por otros autores con respecto a privacidad e implicaciones éticas (Barmounakis et al., 2016; Park y Ewing, 2018). Por ejemplo, en el estudio de San Eugenio se informó días antes a la unidad vecinal que se efectuarían vuelos con un dron. Sin embargo, de igual forma durante el vuelo se acercaron personas preguntando por curiosidad y desconfianza la presencia de la aeronave. Esto hizo necesario que el piloto tuviera un acompañante para responder preguntas y así evitar ser distraído.

### **3.3 Beneficios de uso de UAV**

Resumiendo, algunos de los beneficios del uso de un dron en el estudio del tráfico:

- Los videos a 120 m de altura dan una perspectiva única, pero limitada para observar con precisión todas las actividades viales.
- Los videos tomados permitieron contar flujos (aunque por limitado tiempo) para diferentes modos de tráfico, incluso modos motorizados y no-motorizados.
- Una evaluación preliminar y de forma visual de las grabaciones, es decir sin hacer el ejercicio de cálculo, indica que otras características del tráfico pueden ser obtenidos desde los videos, para luego usar estos en herramientas de simulación. Además de los flujos por modo ya mencionados, parece factible extraer: (i) tiempos de viajes; (ii) velocidades por tipo de vehículo; (iii) velocidades por pista; (iv) largo de cola en semáforos; (v) orígenes y destinos en cruces; (vi) porcentaje de virajes; (vii) ocupación por pista; (viii) tiempos de detención de buses en paradas; y (ix) porcentaje de cambios de pistas. Algunos de estos parámetros fueron calculados con software en el trabajo de Bernal-Giraldo (2016).
- La posibilidad de desplazar el dron fácilmente de un punto a otro permite observar distintas áreas en la misma zona de forma prácticamente simultánea. Es decir, se puede tener una evaluación cualitativa del tráfico en múltiples cruces o tramos de calles en un tiempo limitado.

Si se cuenta con los permisos respectivos, el costo-tiempo de planificación y ejecución de vuelo es razonable, siendo este cercano a tres días para la planificación y un día para el vuelo aplicado, siendo ejecutado por dos personas.

## **4. RECOMENDACIONES**

Basado en la experiencia de observar flujos de tráfico con un UAV en un sector urbano, concluimos que esta metodología permite acceder a diagnósticos iniciales sobre el uso del espacio en el tiempo (velocidad, tiempos de viajes, etc.). Generar estadísticas más detalladas requiere una observación continua, lo que parece ser complicado por las limitaciones en el tiempo de vuelo. Para ejecutar una campaña de observación, se recomienda contratar un servicio profesional. Es necesario

---

considerar que un servicio especializado en vuelos con UAV tiene pericia, equipamiento y documentos al día para volar en áreas urbanas.

A pesar de lo anterior, el uso de UAV presenta varias ventajas comparativas con respecto a los métodos tradicionales. En primer lugar, es menos intensivo en el uso de mano de obra, lo que conlleva disminuir los recursos económicos requeridos. En segundo lugar, reduce los posibles errores, o incluso eventualmente evita los falsos positivos/negativos de los conteos manuales. Por último, puede ser muy apropiado para el monitoreo de sectores inseguros de la ciudad, donde los equipos de trabajo pueden ser objeto de algún tipo de acoso o amenaza. Con respecto a estudios en el futuro, estos deben investigar las oportunidades y utilidades que presentan nuevas herramientas y software (en la nube), como por ejemplo DataFromSky, para la evaluación de videos de tráfico tomados con un UAV (Muñoz et al., 2023).

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Videos ejemplares están disponible por solicitud al autor principal.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los miembros de la Unidad de Política y Práctica (UPP) CEDEUS para establecer los vínculos con la municipalidad y los vecinos. En particular se valora el apoyo de Roxanna Ríos en la planificación de los vuelos, a Martín Cruz, como piloto del UAV, y a Diego Brieva por analizar los videos. Las indicaciones de un revisor sobre los cambios en las normas DAN en 2024 son muy apreciadas. Esta investigación fue financiada por el Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS) (ANID/Fondap/1522A0002).

## REFERENCIAS

- Ahmed, A., Ngoduy, D. Adnan, M. y Baig, M.A.U. (2021). On the fundamental diagram and driving behavior modeling of heterogeneous traffic flow using UAV-based data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **148**, 100–115.
- Barmounakis, E.N., Vlahogianni, E.I. y Golias, J.C. (2016). Unmanned aerial aircraft systems for transportation engineering: current practice and future challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology* **5**, 111-122.
- Barmounakis, E.N., Vlahogianni, E.I. y Golias, J.C. (2018). Identifying predictable patterns in the unconventional overtaking decisions of PTW for cooperative ITS. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* **3**, 102–111.
- Barmounakis, E.N., Vlahogianni, E.I. , Golias, J.C. y Babinec, A. (2019). How accurate are small drones for measuring microscopic traffic parameters? *Transportation Letters* **11**, 332–340.
- Bernal-Giraldo, M.A. (2016). Metodología para Calcular Parámetros de Tránsito a Partir de Información Recogida por Medio de Nuevas Tecnologías (Drones), y su Comprobación en la Función Flujo-Demora de Akcelik. Tesis de Maestría, Universidad de los Andes.

Butilă, E.V. y Boboc, R.G. (2022). Urban traffic monitoring and analysis using unmanned aerial vehicles (UAVs): a systematic literature review. *Remote Sensing* **14**, 620 <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/3/620>

CEDEUS (2019). Diagnóstico y propuestas participativas para el re-diseño Barrio San Eugenio. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Santiago.

Chen, P., Zeng, W. y Yu, G. (2019). Assessing right-turning vehicle-pedestrian conflicts at intersections using an integrated microscopic simulation model. *Accident Analysis & Prevention* **129**, 211–224.

DataFromSky (2023). Perfect traffic data from video even in complex scenes with small objects and irregular movements. Data From Sky - News. <https://datafromsky.com/news/perfect-traffic-data-from-video-even-in-complex-scenes-with-small-objects-and-irregular-movements/#/>

De Candia, C., Kopacz, E. y Raggio, N. (2018). Uso de tecnología de drones para el relevamiento de información del tránsito. Actas *XXXII Jornadas de Investigación*, 1660-1669, FADEU; Universidad de Buenos Aires.

De la Torre-Molina, A.R. (2021). Drones y movilidad segura y conectada. *Ingeniería Civil - Revista Digital del Cedex* **197**, 12-23.

DGAC (2024). DAN 151. Dirección General Aeronáutica Civil, Santiago. <https://www.dgac.gob.cl/normativa/reglamentacion-aeronautica/normas-dan/>

DGAC (2023a). DAN 91. Dirección General Aeronáutica Civil, Santiago. <https://www.dgac.gob.cl/normativa/reglamentacion-aeronautica/normas-dan/>

DGAC (2023b). Actualización sobre el registro de nuevos RPA y la regularización de los registros provisorios de RPAS o drones. Dirección General Aeronáutica Civil, Santiago. <https://www.dgac.gob.cl/actualizacion-sobre-el-registro-de-nuevos-rpa-y-la-regularizacion-de-los-registros-provisorio-de-rpas-o-drones/>

DJI (2024). Phantom 4 Pro. DJI Technology Ltd., Shenzhen. <https://www.dji.com/es/support/product/phantom-4-pro>

Eisenbeiss, H. (2004). A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **36**, 1-7.

Hardin, P.J. y Jackson, M.W. (2005). An unmanned aerial vehicle for rangeland photography. *Rangeland Ecology & Management* **58**, 439-442.

Harris, J.M., Nelson, J.A., Rieucan, G. y Broussard III, W.P. (2019). Use of drones in fishery science. *Transactions of the American Fisheries Society* **148**, 687-697.

---

INE (2018). *Censo de Población y Vivienda 2017*. Instituto Nacional de Estadística, Santiago.

Kanistras, K., Martins, G., Rutherford, M.J. y Valavanis, K.P. (2013). A survey of unmanned aerial vehicles (UAVs) for traffic monitoring. *Proceedings 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, IEEE, 221-234.

Lucieer, A., Robinson, S.A. y Turner, D. (2010). Using an unmanned aerial vehicle (UAV) for ultra-high-resolution mapping of Antarctic moss beds. University of Wollongong.

Madaan, R., Gyde, N., Vemprala, S., Brown, M., Nagami, K., Taubner, T., Cristofalo, E., Scaramuzza, D., Schwager, M y Kapoor A. (2020). AirSim drone racing lab. *ArXiv: 2003.05654*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.05654>.

Mademlis, I., Mygdalis, V., Nikolaidis, N., Montagnuolo, M., Negro, F., Messina, A. y Pitas, I. (2019). High-level multiple-UAV cinematography tools for covering outdoor events. *IEEE Transactions on Broadcasting* **65**, 627-635.

Muñoz, S., López, A., Huenupi, M. y Tirachini, A. (2023). Buenas prácticas para la aplicación de conteo de tráfico automatizado utilizando visión artificial en Chile. *Actas del 21º Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 23-25 octubre 2023, Valparaíso.

Nex, F. y Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics* **6**, 1-15.

Orduna, M.B., de Candia, C. y Raggio, N. (2019). Uso de imágenes de drones para el análisis de la infraestructura de la movilidad urbana peatonal. *ACTAS-Jornadas de Investigación* 2393-2405, <https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/actas/article/view/1172>.

Park, K. y Ewing, R. (2018). The usability of unmanned aerial vehicles (UAVs) for pedestrian observation. *Journal of Planning Education and Research* **42**, 206-217.

Parra-Ovalle, D., Miralles-Guasch, C. y Marquet, O. (2023). Pedestrian street behavior mapping using unmanned aerial vehicles. a case study in Santiago de Chile. *PLoS One* **18**, e0282024, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282024>

Puri, A. (2005). A survey of unmanned aerial vehicles (UAV) for traffic surveillance. Department of Computer Science and Engineering, University of South Florida.

Sagaris, L., Tiznado-Aitken, I. y Steiniger, S. (2017). Exploring the social and spatial potential of an intermodal approach to transport planning. *International Journal of Sustainable Transportation* **11**, 721-736.

Salvo, G., Caruso, L. y Scordo, A. (2014). Urban traffic analysis through an UAV. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* **111**, 1083-1091.

SECTRA (2013). *Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana*. Secretaría de Planificación de Transporte, Santiago. <http://www.sectra.gob.cl/metodologias/mespivu.htm>

Steiniger, S., Fuentes, C., Flores, D., Castillo, B., Vecchio, G., Walker, J. y Carrasco, J.A. (2022). STRIDE-una aplicación Android para recolectar experiencias de peatones para apoyar a las intervenciones con un foco en la caminabilidad. *Estudios de Transporte* **23**, 1-20.

Vecchio, G., Castillo, B. y Steiniger, S. (2020). Movilidad urbana y personas mayores en Santiago de Chile: el valor de integrar métodos de análisis, un estudio en el barrio San Eugenio. *Revista de Urbanismo* **43**, 26-45.

Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C. y Turner, D. (2012). Development of a UAV-LiDAR system with application to forest inventory. *Remote Sensing* **4**, 1519-1543.

Wan, M., Gu, G., Qian, W., Ren, K., Maldague, X. y Chen, Q. (2019). Unmanned aerial vehicle video-based target tracking algorithm using sparse representation. *IEEE Internet of Things Journal* **6**, 9689–9706.