

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**ESTUDIO DE VIDA PÚBLICA Y MICRO SIMULACIÓN
PEATONAL EN LA VÍA PUCP, MEDIANTE OBSERVACIÓN
DIRECTA, DRONES Y VISWALK**

Tesis para optar el Título de **INGENIERO CIVIL**, que presentan los bachilleres:

**GABRIEL SERGIO LUIS LEGUA LANDEO
MANUEL GERMAN SABINO GONZALES**

ASESOR: Ing. Félix Israel Cabrera Vega

Lima, noviembre de 2016



RESUMEN DE TESIS

Con el paso del tiempo la importancia de un diseño adecuado del espacio público se ha convertido en una tarea de gran relevancia en el diseño urbano. Esto ha generado un mayor interés en el comportamiento de los peatones por parte de la ingeniería. A través de las últimas décadas se han planteado modelos peatonales que tratan de representar el comportamiento peatonal con distintas escalas de detalle; pero se tiene poco conocimiento de cómo funcionarían estos modelos en el Perú por lo que en la presente investigación se tiene como objetivo principal analizar el comportamiento peatonal en un campus universitario para lo cual se delimita como área de estudio la vía peatonal principal de la PUCP, pues, es uno de los lugares de mayor tránsito peatonal dentro del campus. Para este objetivo, se utiliza la combinación de dos elementos: El estudio de la vida pública y la micro simulación peatonal.

El primer elemento, analiza la interacción de las personas con el espacio público, lo cual incluye las actividades que realizan, los grupos que se forman y el tiempo que permanecen. El segundo elemento, representa el desplazamiento y comportamiento de los peatones dentro de la vía a través de un modelo de micro simulación basado en la fuerza social.

La metodología a seguir para lograr el objetivo comienza con la identificación del comportamiento de los peatones, el registro del flujo peatonal, las líneas de deseo, las velocidades con la que transitan, y la proporción de peatones por género y por sentido de viaje. Todo esto se realiza mediante observación

directa y el uso de drones. La observación directa en campo permite reconocer patrones y obstáculos que no son perceptibles por un observador externo, esto se complementa con la información que se obtiene por medio del dron, pues, se obtiene un registro audiovisual de la interacción de las personas con el entorno. Todos estos datos conseguidos permiten construir un modelo de micro simulación peatonal en el software VISWALK, el cual es calibrado y validado mediante pruebas no paramétricas. La comparación del modelo creado con lo que realmente sucede permite identificar fortalezas y debilidades del software. Con ayuda de registros fotográficos, información captada mediante drones y recorrido de la vía peatonal se realiza el estudio de Vida Pública que identifica las actividades y la cantidad de personas que se agrupan al realizar estas actividades.

Finalmente, se pudo comprobar que la simulación con el modelo de la fuerza social es eficiente en el ambiente universitario de la PUCP. Las velocidades promedio del modelo en el programa y de la obtenida en campo a través de los drones son muy similares (3.52 km/h y 3.65 km/h respectivamente). Se comprobó que la sugerencia de Gehl (2013) para el conteo de peatones en una vía, no es válida en ambientes universitarios porque genera amplios rangos de diferencia en el conteo (cercanas a un aumento del 50%). Asimismo, se concluyó que la capacidad de la vía está en óptimas condiciones; sin embargo, en casos excepcionales como actividades sonoras (conciertos o danzas) la vía se obstruye por completo, por lo que se sugiere realizar estas actividades en lugares apropiados no cercanas a la vía principal.

ÍNDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETIVO GENERAL	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4. HIPÓTESIS	2
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3
CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
2.1 ESPACIO PÚBLICO Y VIDA PÚBLICA	4
2.1.1 ANTECEDENTES	6
2.1.2 MÉTODOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS DE VIDA PÚBLICA	17
2.2 MODELOS PEATONALES	25
2.2.1 MACROSIMULACIÓN PEATONAL	26
2.2.2 MICROSIMULACION PEATONAL	27
CAPITULO 3: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	46
CAPÍTULO 4: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PEATONAL EN VISWALK	52
CAPITULO 5: RESULTADOS	60
5.1 FLUJOS PEATONALES	60
5.2 ESTUDIO DE VIDA PÚBLICA	64
5.3 LÍNEAS DE DESPLAZAMIENTO	72

5.4 VELOCIDADES PEATONALES	74
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	87



LISTA DE FIGURAS

[Figura 1] Plaza de Armas, Lima Perú	4
[Figura 2] Alameda Chabuca Granda, Lima Perú	5
[Figura 3] Ciudad de Copenhague, Dinamarca 1954	7
[Figura 4] Escalas de sentido del lugar	17
[Figura 5] Conteo en la vía principal, PUCP Lima Perú	20
[Figura 6] Zona de estudio y sus puntos más congestionados	21
[Figura 7] Líneas de desplazamiento a lo largo de vía principal, PUCP	21
[Figura 8] Seguimiento a un peatón en Jirón de la Unión, Lima Perú	22
[Figura 9] Ruta creada por los estudiantes de la PUCP, Lima Perú	23
[Figura 10] Pileta en el Centro de Lima, Perú	23
[Figura 11] Recorrido del Jirón de la Unión. Lima, Perú	24
[Figura 12] Niveles de comportamiento peatonal	25
[Figura 13] Partícula con sus posibles direcciones de movimiento y correspondientes probabilidades	31
[Figura 14] Discretización de las direcciones de movimiento	32
[Figura 15] Categorización de las velocidades de movimiento	32
[Figura 16] Posibilidades de elección para los peatones	32
[Figura 17] Factores influyen en el nivel del flujo y en la distribución del comportamiento peatonal	34
[Figura 18] Representación del proceso de cambio de comportamiento según el modelo de la fuerza social	35
[Figura 19] Tendencia a formar carriles en una vía	44
[Figura 20] Formación natural de carriles de peatones en el Jirón de La Unión	45
[Figura 21] Modelo de dron utilizado en el presente estudio: Phantom	47
[Figura 22] Inicio de la vía peatonal PUCP	47

[Figura 23] Medición del flujo peatonal y línea de referencia en la vía peatonal PUCP	48
[Figura 24] Entradas/Salidas peatonales de la vía peatonal del presente estudio	49
[Figura 25] Recorrido de la vía peatonal PUCP	49
[Figura 26] Registro en fotografía de la vida pública en la vía PUCP	50
[Figura 27] Diagrama de flujo para el proceso de creación del modelo peatonal	52
[Figura 28] Dibujo en AutoCAD de la sección de la vía a analizar	53
[Figura 29] Ingreso de medida real para el ajuste de escala	53
[Figura 30] Trazo de vía peatonal sobre imagen importada	54
[Figura 31] Ubicación y características de los obstáculos en la vía peatonal	54
[Figura 32] Creación de regiones en los accesos de la vía	55
[Figura 33] Entradas y salidas peatonales con los flujos correspondientes	55
[Figura 34] Definición de rutas y flujos peatonales	56
[Figura 35] Ingreso de velocidades con sus respectivas frecuencias según género y sentido	56
[Figura 36] Calibración cualitativa del modelo peatonal en VISWALK	57
[Figura 37] Resultados de la prueba de aleatorización	59
[Figura 38] Flujo de peatones por intervalos de tiempo en el sentido de biblioteca central hacia el complejo de innovación académica	62
[Figura 39] Flujo de peatones por intervalos de tiempo en el sentido del complejo de innovación académica hacia la biblioteca central	63
[Figura 40] Grupo de peatones conversando en la vía peatonal PUCP	64
[Figura 41] Estudiantes en actividades artísticas en la vía peatonal PUCP	65
[Figura 42] Detalle de actividades de lectura en la vía PUCP	66
[Figura 43] Estudiantes conversando en la vía PUCP	67
[Figura 44] Grupos de ayuda social en actividades de reclutamiento	68
[Figura 45] Afiches colocados a lo largo de la vía	70

[Figura 46] Mapeo de la vía principal peatonal PUCP y las actividades que se realizaban	71
[Figura 47] Líneas de desplazamiento en el sentido del complejo de innovación académica hacia la biblioteca central	72
[Figura 48] Líneas de desplazamiento en el sentido de la biblioteca central hacia el complejo de innovación académica	73
[Figura 49] Velocidades de desplazamiento por grupos de personas en el sentido del complejo de innovación académica hacia la biblioteca central	74
[Figura 50] Velocidades de desplazamiento por grupos de personas en el sentido de la biblioteca central hacia el complejo de innovación académica	75
[Figura 51] Relación entre las velocidades de los peatones de sexo masculino y femenino en el sentido de la biblioteca central hacia el complejo de innovación académica	76
[Figura 52] Relación entre las velocidades de los peatones de sexo masculino y femenino en el sentido del complejo de innovación académica hacia la biblioteca central	77
[Figura 53] Prueba de aleatorización para las velocidades peatonales individuales según género	78
[Figura 54] Proporción de peatones de sexo masculino y femenino	79
[Figura 55] Velocidades seleccionadas aleatoriamente de campo	79
[Figura 56] Velocidades obtenidas de Viswalk	80

LISTA DE TABLAS

[Tabla 1] Clasificación del comportamiento de acuerdo a su complejidad	36
[Tabla 2] Volumen peatonal en el sentido del complejo de innovación académica hacia la biblioteca central	61
[Tabla 3] Volumen peatonal en el sentido de la biblioteca central hacia el complejo de innovación académica	61



ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

$\mathbf{p}_{1,0}$,	peatón que se desplaza un paso hacia adelante
$\mathbf{p}_{-1,0}$,	peatón que se desplaza un paso hacia atrás
$\mathbf{p}_{0,1}$,	peatón que se desplaza un paso hacia la derecha
$\mathbf{p}_{0,-1}$,	peatón que se desplaza un paso hacia la izquierda
α ,	peatón analizado
β ,	otros peatones
t ,	tiempo de desplazamiento del peatón (s)
$\vec{\omega}_\alpha$,	cantidad de movimiento del peatón (m/s)
$d\vec{\omega}_\alpha/dt$,	derivada respecto al tiempo de cantidad de movimiento del peatón
$\vec{F}_\alpha(t)$,	fuerza total sobre el peatón en el tiempo (N)
\vec{r}_α^0 ,	vector posición final del peatón (m)
\vec{r}_α^n ,	vector posición “n” del peatón (m)
$\vec{r}_\alpha(t)$,	vector posición actual del peatón en el instante de tiempo “t” (m)
\vec{r}_α^k ,	vector siguiente posición a alcanzar (m)
$\vec{e}_\alpha(t)$,	distancia entre la posición actual y la siguiente posición (m)
v_α^0 ,	rapidez deseada por el peatón (m/s)
$\vec{v}_\alpha(t)$,	velocidad actual del peatón en el tiempo “t” (m/s)
τ_α ,	factor de desaceleración del peatón
$\vec{f}_{\alpha\beta}$,	efecto de repulsión producida por otros peatones
$\nabla_{\vec{r}_{\alpha\beta}}$	derivada dimensional de la posición de los otros peatones respecto al peatón analizado
$\vec{r}_{\alpha\beta}$,	vector posición otros peatones respecto al peatón analizado (m)
$V_{\alpha\beta}$,	potencial repulsivo de los otros peatones
b ,	semieje menor de las líneas equipotenciales del desplazamiento

$\vec{e}_\beta,$	distancia entre la posición actual y la siguiente posición de los otros peatones (m)
$\Delta t,$	diferencial de tiempo (s)
$v_\beta,$	velocidad de los otros peatones (m/s)
$B,$	borde de la vía
$U_{\alpha B},$	potencial repulsivo del borde de la vía
$\vec{F}_{\alpha B},$	fuerza de repulsión del borde de la vía (N)
$\nabla_{\vec{r}_{\alpha B}},$	derivada dimensional de la posición de los otros peatones respecto al peatón analizado
$\vec{r}_{\alpha B},$	vector posición del borde respecto al peatón (m)
$\vec{r}_B^\alpha,$	vector posición de cada pieza del borde la vía cercana al peatón (m)
$i,$	elemento que produce atracción
$\vec{f}_{ai},$	efecto de atracción
$\nabla_{\vec{r}_{ai}},$	derivada dimensional de la posición de los otros peatones respecto al peatón analizado
$W_{ai},$	potencial de atracción del elemento
$\vec{r}_{ai},$	vector posición del elemento atractivo respecto al peatón (m)
$2\varphi,$	ángulo de visión efectiva
$\vec{F}_{ai},$	fuerza de atracción del elemento (N)
$\Sigma_\beta,$	sumatoria de las fuerzas de repulsión producida por otros peatones
$\Sigma_B,$	sumatoria de las fuerzas de repulsión del borde
$\Sigma_i,$	sumatoria de las fuerzas de atracción
$v_a^{max},$	velocidad máxima aceptable
$\vec{\omega}_\alpha(t)$	cantidad de movimiento deseada en el tiempo "t"

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Antiguamente las ciudades se construían entorno al automóvil, pensando en mejores vías y facilidades para el uso del mismo. No obstante, los resultados obtenidos no fueron beneficiosos para la calidad de vida de las personas. Es por ello que surge el concepto de movilidad, el cual busca mejorar las formas de desplazamiento de los diferentes usuarios (peatones, ciclistas, discapacitados y transporte público), priorizando formas de transporte sostenible (Cabrera, 2011). En consecuencia, el interés por el comportamiento de los peatones ha ido aumentando a lo largo de los años debido a su importancia en la movilidad y el diseño adecuado del espacio público. Un buen diseño, del espacio público, se consigue mediante dos elementos: el estudio de la vida pública y el uso de herramientas de ingeniería como la micro simulación peatonal. El primero, se relaciona a la forma en que las personas emplean el espacio público, se relacionan entre sí y son capaces de satisfacer sus necesidades básicas como ver, escuchar y descansar. El segundo, trata de representar el desplazamiento de peatones en situaciones normales y de emergencia (caóticas). Actualmente, se pueden encontrar diversos modelos como el de la fuerza social, celular autómatas, velocidad óptima, gases, etc.

En esta investigación se analizará la principal vía peatonal de la PUCP desde el punto de vista de la vida pública.; además, se empleará un modelo de micro simulación basado en la fuerza social para representar los patrones de

conducta de los peatones. Se optó por este entorno de estudio debido a que no se requerían mayores variaciones (tipos de usuarios, conflictos con vehículos, estado de la infraestructura, entre otras). De lo contrario se necesitaría mayor tiempo para la construcción del modelo, su calibración y posterior análisis.

1.2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del proyecto es analizar el comportamiento y vida pública de los peatones en la vía principal de la PUCP mediante la técnica de la observación directa y la grabación de videos con drones; además, se empleará el software de micro simulación VISWALK para representar dicho comportamiento.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar el comportamiento que siguen los peatones y registrar cantidades de peatones, líneas de deseo, velocidades de circulación, entre otros parámetros. También, se estudiará la vida pública en la vía principal peatonal de la PUCP mediante el uso de drones para la recolección de datos que permitan construir y calibrar un modelo de micro simulación peatonal. Finalmente, se analizarán las fortalezas y debilidades del software VISWALK.

1.4. HIPÓTESIS

El desplazamiento de los peatones puede ser modelado mediante el modelo de la fuerza social. Para ello, se observará cómo los estudiantes, al desplazarse, tienden a formar pelotones por afinidad, se quedan conversando en grupos y

realizan diversas actividades sociales. Asimismo, la infraestructura peatonal resulta insuficiente para la demanda existente.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio está limitado a un ambiente universitario, esto significa que en su mayoría los peatones son jóvenes adultos y la vía se encuentra en óptimas condiciones. Si el estudio se realizara en un ambiente externo, intervendrían otros factores tales como tipos de peatones (ancianos, niños o discapacitados), calidad de la vía peatonal, intersecciones con vías vehiculares, entre otros.

Por otra parte, el modelo construido en el software no representa exactamente lo observado en la realidad, por ejemplo la agrupación de peatones, la atracción hacia objetos durante el recorrido o la posibilidad de que los peatones regresen antes de llegar a su destino por decisiones súbitas.

CAPITULO 2

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 ESPACIO PÚBLICO Y VIDA PÚBLICA

El espacio puede categorizarse en tres diferentes enfoques. El enfoque fenomenológico, el cual se refiere a la esencia del lugar, el concepto de adentro y afuera; el crítico, en el cual se considera la infraestructura económica y socio cultural y el enfoque Positivo, referido a los componentes físicos y funcionales del lugar (Hashemnezhad et al, 2013). No obstante, cuando se habla de espacio público es todo el entorno que nos rodea entre las edificaciones construidas, tales como calles y plazas (Figura 1). Todos los lugares con los que interactuamos conforman el espacio público.



[Figura 1] Plaza de Armas, Lima Perú. Fuente: Propia

Por otra parte, la vida pública se relaciona con la mayoría de las actividades sociales (Figura 2) tales como caminatas, paseos familiares, eventos culturales,

charlas con amigos, en otras palabras, es todo lo que podemos ver qué sucede a nuestro alrededor.



[Figura 2] Alameda Chabuca Granda, Lima Perú. Fuente: Propia

Estos conceptos, de espacio y vida pública, no son distantes entre sí, todo lo contrario, se relacionan e interactúan todo el tiempo. Para Herce (2009) la calle es el espacio sustraído del espacio privatizado, es decir, es el medio que conecta las edificaciones con los servicios urbanos. Sus bordes definen la delimitación en el plano urbanístico. Por ello, las construcciones tienen que convivir en armonía con el entorno. Es el lugar para socializar por excelencia, a pesar de haber perdido cierta relevancia debido a la aparición de nuevas formas tecnológicas de interacción, es aquí en donde se originan las relaciones sociales de la ciudad.

Además, es en las calles en donde se realizan acontecimientos como propagandas de ideas, manifestaciones culturales o de protesta, entre otros. Si se analiza desde un enfoque de transporte, la calle es el soporte de las formas de movilidad de todos los tipos, a través de los caminos y ciclo vías. Sus

espacios libres tales como plazas y parques son el espacio principal para la vegetación de las ciudades, lo cual puede influenciar la permanencia de las personas, pues, si la vegetación es mayor y variada, el público se verá atraído por la estética y el ambiente amigable.

Todo lo anteriormente mencionado no es universal, dado que depende del tipo de calle. En una calle puede darse todo pero en diferentes magnitudes, mientras que en otra resultaría incompatible debido a características como dimensiones y tipo de entorno.

2.1.1 ANTECEDENTES

En épocas medievales, el espacio y la vida pública fueron muy importantes y las construcciones convivían en armonía con el entorno. Sin embargo, esto se fue perdiendo al pasar el tiempo. A comienzos de la industrialización, a mediados del siglo XIX, las personas comenzaban a dejar las áreas rurales para mudarse a las zonas urbanas. En estas, se iniciaron construcciones con nuevos materiales y técnicas más efectivas que permitían un tiempo menor de ejecución, lo cual desafió a la ciudad tradicional. No obstante, el cambio radical se llevó a cabo en el siglo XX cuando llegaron los autos. Debido a la relación entre la industria, las personas y los autos, y además, a las características de las ciudades medievales, en donde estas eran lugares insalubres, con callejones sucios y calles con carencia de higiene, la modernización de la ciudad se centró en mejorar las condiciones higiénicas de la ciudad.

Si bien se logró erradicar este problema, a partir de 1950 los autos se volvieron parte de la vida diaria de la ciudad (Figura 3) y en conjunto con la vida moderna ocasionaron nuevas dolencias como la contaminación ambiental, la crisis energética y el estrés. Este fue el inicio de la inclusión de los aspectos sociales y psicológicos en los estudios de vida pública (Gehl y Svarre, 2013).



[Figura 3] Ciudad de Copenhague, Dinamarca 1954. Fuente: Gehl y Svarre, 2013

Los estudios de vida pública han ido evolucionando paulatinamente conforme surgían nuevos conflictos. En 1950 Jane Jacobs alzó su voz de protesta y criticó el planeamiento que se planteaba en la ciudad pues, según su criterio, era abstracto y distante para los usuarios. Jacobs llevó a cabo estudios en las calles de Greenwich Village en la ciudad de Nueva York, donde realizó observaciones de las condiciones de la vida en espacios públicos y cómo estos iban cambiando. Llegó a la conclusión que al dividir la ciudad en zonas residenciales, recreacionales y comerciales se destruía la vida social y las conexiones de la ciudad (Jacobs, 1961).

Asimismo, el urbanista americano, William H. Whyte realizó estudios en la misma ciudad, en donde recolectaba datos por simple observación o con ayuda de una cámara. En 1980 publicó “The Social Life of Small Urban Spaces”, este libro significó una guía para realizar estudios de vida pública. (Gehl y Svarre, 2013; Whyte, 1988).

Por otra parte, el arquitecto Christopher Alexander creía que los usuarios eran los que conocían más acerca de la ciudad que los mismos arquitectos y diseñadores urbanos. Propuso que los usuarios podían diseñar desde sus propias mobiliarias hasta áreas urbanas enteras. Además, resaltaba los límites que debían tener los edificios para obtener una interacción óptima con el entorno y señalaba que la manera de construir la ciudad guardaba relación con las personas y lo que sentían por la ciudad (Alexander, 1977 y 1979).

Al igual que Alexander, el arquitecto Peter Bosselmann quería representar la ciudad desde la perspectiva del usuario pues alegaba que los profesionales raramente tenían la misma noción que el ciudadano común. En 1984 Bosselmann llevó a cabo estudios sobre el impacto que tendrían los rascacielos que se pretendían construir, esto significó un gran aporte ya que demostró que habría influencias en el microclima de la ciudad de San Francisco, así como efectos negativos para los peatones como la obstrucción de la luz solar y el cambio en las condiciones de viento (Bosselmann et al ,1984).

Otro de los críticos que surgió en contra del diseño de las nuevas ciudades fue Donald Appleyard quien argumentaba que las calles se habían convertido en lugares cada vez más peligrosos e inhabitables. Appleyard sostenía que las calles debían ser lugares habitables, con comunidades, lugares recreacionales, áreas verdes y que debían expresar la historia local. Sin embargo, su mayor contribución se debe a sus estudios de tráfico en tres calles residenciales de San Francisco. Gracias a esta investigación pudo concluir que el tráfico influía en el desarrollo de la vida social en las calles (Appleyard, 1981).

Para Allan Jacobs los diseños que se ejecutaban no se enfocaban en los usuarios sino en los autos. Para él, las calles debían ser capaces de tolerar gente de diferentes estratos sociales y enfatizaba la calidad de las antiguas urbes no solo por sus lugares tradicionales, sino también por el aspecto social y psicológico (Gehl y Svarre, 2013; Jacobs, 1985). En conjunto con Appleyard elaboró un listado de deficiencias de las ciudades modernas y de lo que se debía lograr (Appleyard y Jacobs, 1987) las cuales se resumen a continuación.

PROBLEMAS DEL DISEÑO URBANO MODERNO

Entre los principales conflictos que se identificaron se encuentran los siguientes:

Entornos de vida pobre

Algunas partes de la ciudad son lugares peligrosos, contaminados, ruidosos. Además, el viajar de un punto a otro se ha convertido en una actividad agotadora y estresante; esto genera entornos de vida pobre.

Crecimiento y pérdida de control

El entorno urbano está creciendo rápidamente, los elementos de la ciudad aumentan desmesuradamente y dejan a las personas de lado.

Privatización a gran escala y pérdida del espacio público

Gran parte de las ciudades se han privatizado debido al creciente consumo de la sociedad, con lo cual se origina una especie de riqueza privada y miseria pública.

Fragmentación Centrífuga

Las sociedades industriales han llevado el trabajo lejos de la localidad, mientras el automóvil y el crecimiento desmesurado han llevado a realizar las compras fuera de la comunidad local. Las comunidades se han convertido en grupos menos densos pero más homogéneos. Se han formado grupos mono culturales, las cuales se han separado y la única manera de interactuar entre ellas es por medio de largas jornadas de viaje.

Destrucción de lugares valiosos

La búsqueda de ganancias y prestigio ha llevado a la destrucción de gran parte del patrimonio cultural de las ciudades.

Carencia de lugares

Las decisiones que afectan a las ciudades son tomadas sin tener en cuenta la opinión del usuario.

Injusticia y desigualdad

La discrepancia entre el entorno de los ricos y el de los pobres está muy marcada. El crimen en las calles es una consecuencia de esta tendencia, por ello el entorno público se ha convertido en un desierto, dejando la vida pública dependiente, para su supervivencia, de actividades planeadas sobre todo en lugares internos.

Profesionales sin criterio

Los profesionales de diseño son, muy frecuentemente, parte del problema. En muchas ocasiones se diseñan lugares para personas que no se conoce y no se les da la importancia que deberían tener. Hay muchas propuestas pero muy poca investigación.

METAS PARA LA VIDA URBANA

Asimismo, Jacobs y Appleyard proponen los objetivos que deben cumplir las ciudades; estos se detallan a continuación:

Habitabilidad

Una ciudad debe ser un lugar donde todos puedan vivir en relativo confort.

Identidad y control

Las personas deben sentir que una parte de la ciudad les pertenezca, individual y colectivamente, la cual deben cuidar y hacerse responsables por ella.

Acceso a las oportunidades, la imaginación y la alegría

Las personas deben encontrar en la ciudad un lugar donde obtener mayores experiencias, conocer nuevas personas, nuevos puntos de vista, tener diversión, donde puedan escaparse de la rutina diaria del trabajo y de la vida.

Autenticidad y significado

Las personas deben ser capaces de entender su ciudad y la de los demás, sus diseños básicos, funciones públicas e instituciones; deben estar al tanto de sus oportunidades. Debe simbolizar las cuestiones morales de la sociedad y educar a sus ciudadanos a una conciencia de ellos.

Comunidad y vida pública

La estructura de la ciudad debe invitar y alentar a la vida pública directa y simbólicamente a través de sus espacios públicos. Debe estar abierta a toda la comunidad, a menos que amenace el equilibrio de aquella vida.

Autosuficiencia urbana

Las crecientes ciudades tendrán que ser autosuficientes en el uso de energía y otros recursos.

Un entorno para todos

Un buen entorno debe ser accesible para todos. Todos los ciudadanos tienen derecho a un mínimo nivel de habitabilidad y niveles de identidad, control y oportunidad.

No obstante, lograr todo esto es una tarea muy compleja debido a dos factores cruciales. El primero, el cual involucra a las autoridades, pues, estas deben dejar de relacionar la construcción de nuevas infraestructuras con el progreso económico.

Las autoridades deben de mejorar el diseño urbano, lo cual engloba la disposición, apariencia y función de las calles; además, involucra diferentes disciplinas como planificación, arquitectura, paisajismo, ingeniería, derecho y finanzas.

El diseño urbano también debe tener en cuenta las formas en que las personas se relacionan con su entorno, estudios sugieren que esta interacción es en tres dimensiones. La primera es el cognitivo, la cual permite la percepción espacial que tienen las personas, a través de esta pueden conocer los elementos y usar este conocimiento para circular por el camino. La segunda dimensión es la de conducta, esta se refiere a actividades y relaciones funcionales entre la gente y su entorno. La tercera es la emocional, en donde se percibe la satisfacción y apego a un lugar (Australian Government et al, 2011; Hashemnezhad et al. 2013).

Asimismo, diseñadores y urbanistas europeos consideran que la estructura de la ciudad tiene tres dimensiones que a su vez tienen trece criterios (Berkeley Group, 2014) los cuales son las siguientes:

- **Vida social y cultural**

Identidad local

Crear lugares donde las personas tengan sentido de pertenencia y quieran permanecer.

Enlaces entre comunidades

Crear lugares donde las personas conozcan a sus vecinos y confíen en ellos.

Bienestar

La satisfacción de las personas en su vida diaria.

Sensación de seguridad

Las personas deben sentirse seguras tanto en el día como en la noche.

Servicios locales

Tener acceso a diferentes servicios dentro de la misma localidad.

- **Voz e influencia**

Capacidad de influir

Las diferentes opiniones deben ser tomadas en cuenta a la hora de tomar decisiones que afecten a toda la comunidad.

Voluntad de actuar

Crear comunidades en donde las personas trabajen juntas para manejar y mejorar el vecindario.

- **Amenidades e infraestructura**

Espacio adaptable

Crear espacios públicos flexibles, es decir, que puedan cambiar en el futuro.

Disposición de las calles

Crear lugares fáciles de recorrer.

Integración local

Conexiones entre áreas y caminos para propiciar el desarrollo social.

Carácter distintivo

Crear lugares que se sientan únicos.

Conexiones de transporte

Ayudar a las personas a viajar de manera sencilla y sustentable.

Espacios comunes

Diseño y administración óptimos del espacio público.

Al lograr tomar en cuenta estos parámetros se logra influir de manera positiva en la ciudad en los siguientes aspectos (Herce, 2009 y Australian Government et al 2011):

Economía y composición socio económica de la localidad

El equilibrio entre el ecosistema natural y construido; y la sostenibilidad

La interacción de las personas entre ellas y con la ciudad

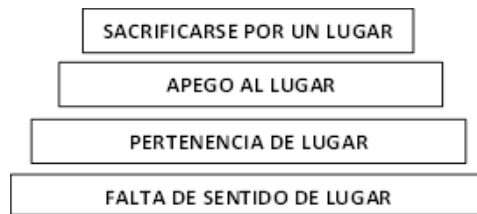
Otro punto importante es que las autoridades deben resaltar la importancia del peatón por sobre los demás medios de transporte, por ejemplo para reducir el

uso y dependencia del automóvil se sugiere realizarlo gradualmente a través de medidas como reducción de velocidad en ciertas áreas, utilización de peajes, restringir y limitar estacionamientos, creación de zonas de acceso limitado, entre otros. Esto conllevará a una reducción del uso del auto privado y surgirán nuevas alternativas para desplazarse como bicicletas (Herce, 2009).

A pesar de que se cumplan con todos estos requisitos, no se cumplirá el objetivo si no se educa a los ciudadanos, se les debe informar acerca de los planes que se van a ejecutar y de las molestias que podrían generar pero que se obtendrán resultados que beneficiarán a todos.

El segundo factor, involucra a la sociedad, pues, es esta la que sufrirá todos los cambios que se darán a lo largo del proceso de renovación de una ciudad. La sociedad debe comprender que la implementación de todo este cambio no es sencilla, sino que conlleva tiempo para observar resultados.

Si se logran cumplir todos estos parámetros y se mantiene una buena comunicación con los ciudadanos durante todo el proceso se obtendrá una ciudad con un buen desarrollo de la vida pública y un espacio público capaz de albergar las actividades que las personas quieren hacer. Se obtendrán ciudadanos capaces de identificarse con su ciudad y que se sentirán parte de ellas, ciudadanos que se sacrificarán por su ciudad, es decir, que tendrán un profundo compromiso por su comunidad (Figura 4).



[Figura 4] Escalas de sentido del lugar. Modificado de Hashemnezhad et al. 2013

Gracias a todos los cambios y nuevos conceptos que se han desarrollado, se ha logrado esbozar algunos derechos de los ciudadanos en el espacio público (Public Spaces, Inc. 2008) los cuales son los siguientes:

Caminar y pasear cómodamente

Permanecer en lugares atractivos y confortables

Conocer y socializar con otras personas

Disfrutar de lugares placenteros a los cuales ir y permanecer

Mirar cosas atractivas durante el camino

Sentirse seguro en lugares públicos

Disfrutar de las demás personas del entorno

Si bien se cuentan con todos estos conceptos, la evolución de los estudios de vida y espacio públicos aún sigue su curso, pues, cada ciudad tiene sus propias características y sus propios conflictos.

2.1.2 MÉTODOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS DE VIDA PÚBLICA

Es indispensable contar con los datos para su posterior uso en diferentes análisis, comparaciones e investigaciones. Para ello, se debe realizar una

recolección de los mismos. No obstante, primero se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos (Gehl y Svarre, 2013):

El número de personas a contar

Esto depende del tipo de análisis que se realizará, pues no existe un número fijo para realizar estudios de vida pública. Lo que se debe hacer es identificar las dimensiones del área a estudiar pues si es una zona amplia se requerirá de una muestra considerable, pero si es pequeña la muestra a obtener será mucho menor.

El tipo de grupo a analizar

Se refiere al tipo de personas a analizar y los parámetros a los cuales pertenecen, pues, algunas áreas están ligadas a cierto grupo de personas. Por ejemplo, si el objetivo del estudio es modificar una zona escolar los grupos bajo observación serán las de género masculino y femenino de entre 8 y 16 años de edad.

El lugar

Con esto se busca saber qué zonas de la ciudad son preferidas por los diferentes tipos de grupos. Estas zonas pueden ser los bordes o el centro de la ciudad o tal vez haya una distribución uniforme en toda la zona de estudio.

El tiempo de observación

Esta es una cuestión clave para el estudio, pues, representa un problema debido a la posible existencia de una cadena de eventos. No obstante, no se

cuenta con un periodo de tiempo fijado, ya que varía según el tipo de actividad que realizan las personas y de las condiciones del entorno.

El clima

También se debe tener en cuenta la temporada bajo la cual se debe realizar el análisis, si es en un parque lo más común sería realizarlo en épocas cálidas en horas de la tarde, si es en una zona comercial lo mejor sería realizarlo en fines de semana o días festivos.

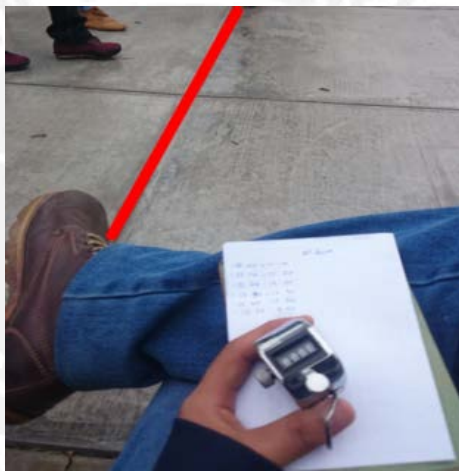
Además de los aspectos mencionados anteriormente, cabe mencionar que los motivos de desplazamiento de los ciudadanos pueden clasificarse en dos tipos. El primero son los viajes obligados, como lo son ir al trabajo o al centro de estudios y los otros son motivo de una movilidad no obligada como viajes de compras, de ocio, dar un paseo, etc. No hay un conjunto de actividades que pertenezcan a un tipo o a otro pues pueden ser obligatorias para algunos pero opcionales para otros. Este conocimiento de estos motivos de desplazamiento es imprescindible para cubrir las necesidades de los distintos grupos de la población, pues, cada uno tiene diferentes requerimientos de espacio (Herce, 2009; Gehl y Svarre, 2013).

Una vez definidos estos primeros aspectos, se procede a la recolección de datos. Esta tarea puede llevarse a cabo a simple vista con el uso de la percepción, el sentido común y el registro por medio de lápiz y papel. No obstante, métodos más actuales involucran el uso de cámaras y GPS para

realizar pausas y análisis con mayor detalle, esto dependerá del objetivo y del tiempo del estudio. Se proponen ocho principales maneras de realizar esta recolección (Gehl y Svarre, 2013).

Conteo Peatonal

Método básico para estudios de vida pública. Se busca, usualmente, registrar el flujo peatonal y las actividades estacionarias a lo largo de la vía bajo estudio. Limitado a zonas con un bajo flujo de peatones (Figura 5).



[Figura 5] Conteo en la vía principal, PUCP Lima Perú. Fuente: Propia

Mapeo

Esta técnica es mayormente empleada para señalar en dónde permanecen las personas, cuáles son las zonas con mayor aforo de peatones para tiempos diferentes a lo largo del periodo de estudio. Si el área es muy amplia (Figura 6), se recomienda que el observador la recorra y tome nota de las actividades de estancia.



[Figura 6] Zona de estudio y sus puntos más congestionados .Fuente: Gehl y Svarre, 2013

Líneas de desplazamiento

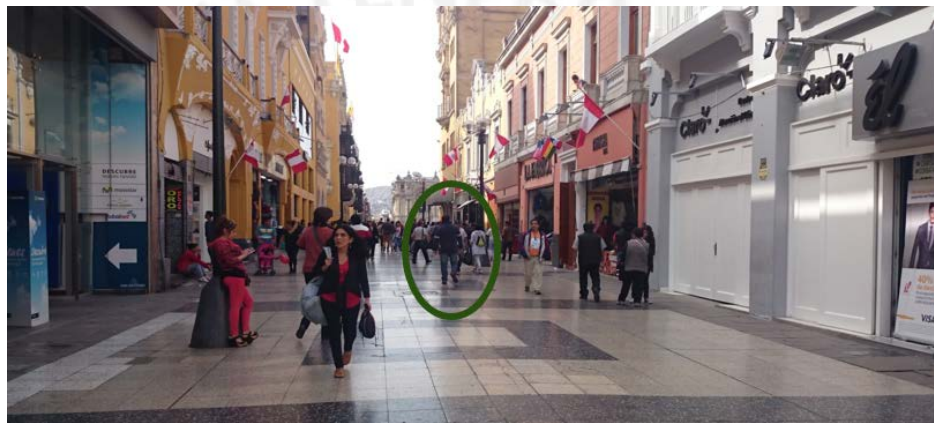
Significa dibujar líneas de deseo peatonales que se han observado en campo sobre un plano. Esto nos proporciona conocimientos básicos acerca de los patrones de movimiento. Sin embargo, puede llegar a ser una labor complicada si hay muchas personas en un área muy reducida (Figura 7).



[Figura 7] Líneas de deseo a lo largo de vía principal, PUCP. Fuente: Propia

Seguimiento

Esta técnica es útil para conocer una velocidad promedio al caminar o saber dónde y cuándo toma lugar cierta actividad. El observador debe ser muy discreto para que la persona bajo estudio no sienta que está siendo seguida, de lo contrario su comportamiento se verá afectado. También se puede medir la velocidad al marcar un tramo y medir el tiempo que le toma a una persona en recorrerlo.



[Figura 8] Seguimiento a un peatón en Jirón de la Unión, Lima Perú. Fuente: Propia

Búsqueda de rastros

Esta es una forma de observar la actividad humana de forma indirecta, pues, se enfoca en los vestigios que dejan las actividades humanas a lo largo de la ruta. Estos rastros pueden ser huellas, evidencia de ciertas actividades, juguetes dejados por niños en los parques, entre otros (Figura 9).



[Figura 9] Ruta creada por los estudiantes de la PUCP, Lima Perú. Fuente: Propia

Registro Fotográfico

En este caso se capturan actividades de corta duración pero que pueden significar una importante contribución a la hora del análisis. Estas situaciones nos pueden mostrar la interacción entre la ciudad y la vida pública, en donde se identificarán los aspectos que necesitan un replanteo para el bienestar de los usuarios.



[Figura 10] Pileta en el Centro de Lima, Perú. Fuente: Propia

Diarios

Esta forma de registro se realiza, principalmente, como un complemento cualitativo con el fin de aclarar los valores cuantitativos que requieren una explicación compleja. La gran ventaja de este método es que se puede anotar los detalles que se desean, así como ciertas características tales como número de personas en cada casa, eventos como mudanzas, etc.

Recorrido de Vía (Test Walks)

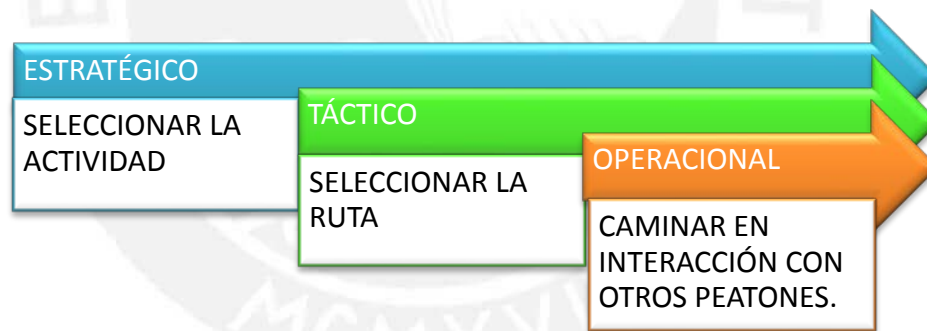
Para este caso, el observador debe realizar caminatas para identificar las rutas importantes y al mismo tiempo percibir tiempos de espera, obstáculos o atracciones durante su trayecto. Estos recorridos otorgan información relevante a la hora de analizar lo recolectado, pues, no es adecuado comenzar el estudio de la vía sin siquiera haber transitado sobre esta.



[Figura 11] Recorrido del Jirón de la Unión. Lima, Perú. Fuente: Propia

2.2 MODELOS PEATONALES

Los modelos de simulación peatonal tratan de describir el flujo de personas lo más simplificada posible, pero a la vez puedan representar el comportamiento real. El nivel de detalle tomado (macroscópico o microscópico) dependerá del tipo de estudio que se requiere hacer, en el caso de los modelos macroscópicos se trata de describir a los peatones como una masa a la cual se le analiza su velocidad y densidad (Schadschneider et al, 2008); por otro lado, en los microscópicos los peatones son analizados de forma particular y se trata de describir su comportamiento individual (Daamen, 2004), el estudio microscópico puede requerir el empleo de otras disciplinas como la sociología, psicología, etc. (Sahaleh et al, 2012).



[Figura 12] Niveles de comportamiento peatonal. Adaptado de Sahaleh (2012)

El dinamismo de las teorías de modelaje peatonal están basadas en tres niveles de comportamiento: estratégico, táctico y operacional (S.P. Hoogendoorn et al, 2001), por lo que es importante entender cada uno de estos conceptos para un

mejor análisis. El nivel estratégico es aquel donde el peatón decide el lugar a donde quiere ir, su localización pero no hace un planeamiento detallado de rutas; en el nivel táctico se define las rutas y se elige la mejor de estas, el peatón toma en cuenta posibles obstáculos o aglomeraciones para tomar su decisión; por último, en el nivel operacional ocurre en el momento del desplazamiento, donde el peatón debe decidir el ajuste de la ruta, como evadir obstáculos u otras personas.

2.2.1 MACROSIMULACIÓN PEATONAL

Los modelos macroscópicos o modelos agregados son aquellos donde se toma un grupo peatonal al cual se le agregan ciertos atributos tales como densidad, velocidad media o flujo (Amir Sohrab Sahaleh et al, 2012), estos modelos fueron inspirados en gases dinámicos o fluidos, a partir de estos se trata de describir cómo cambia la velocidad y densidad con respecto al tiempo con el uso de ecuaciones diferenciales.

MODELO DE GAS CINÉTICO (GAS KINETIC MODEL)

El modelo del gas cinético propone que el flujo de personas se asemeja a la distribución de Maxwell-Boltzmann para gases, el ingeniero Henderson llegó a esta conclusión luego de un estudio al desplazamiento peatonal de estudiantes dentro de un campus. Para poder aplicar la distribución antes mencionada, tuvo que suponer y tomar algunas restricciones como la homogeneidad en masas, velocidad, densidades y actividades de interacción. En el modelo existen interrogantes con la aplicabilidad de las leyes hidrodinámicas, dado que no se

encontró la forma correcta de representar la equivalencia de las variables presión y temperatura (Henderson, 1974).

MODELO FLUIDO DINÁMICO (FLUID DYNAMICS MODEL)

El modelo de fluido dinámico surgió como una nueva alternativa a la representación del flujo peatonal. En este planteamiento los peatones se caracterizan por su posición, velocidad actual y prevista; por ello, se pueden representar el número de peatones de cada tipo dentro de áreas determinadas a partir de las cuales se puede hallar la densidad, la velocidad media y la variación de velocidades. Según el modelo, los cambios de densidades se pueden dar por cuatro motivos distintos: por la tendencia de los peatones a acercarse a la velocidad media, por la interacción entre ellos, que estos cambien su dirección o que entren y salgan del área analizada. (Helbing, 1992).

2.2.2 MICROSIMULACIÓN PEATONAL

La microsimulación peatonal involucra al peatón individualmente porque toma en cuenta comportamientos e interacciones con el entorno, lo cual no puede ser reflejado con el flujo, la velocidad y la densidad que analiza los modelos macroscópicos. El avance de la tecnología y de nuevas herramientas informáticas ha hecho que estos modelos tomen mayor importancia en las dos últimas décadas.

MODELO AUTÓMATA CELULAR (CELLULAR AUTOMATA MODEL)

En las últimas décadas, el modelo celular automático (CA) ha surgido como una técnica efectiva para el modelamiento de comportamientos complejos. El CA se diferencia de otros modelos de simulación por tener un enfoque de vida artificial (Levy, 1992) y lleva el nombre del principio de autómatas (entidades) que ocupan las celdas según las reglas de ocupación de las áreas cercanas. Las reglas locales del modelo CA prescriben el comportamiento de cada autómata (peatón) creando una aproximación del comportamiento real del individuo. El comportamiento del grupo emergente es consecuencia de la interacción del conjunto de reglas de la microsimulación (*rule set*).

Se diferencia de los modelos tradicionales, como el de la fuerza social, en que aplican ecuaciones mas no reglas de comportamiento, el CA está basado en los cambios de estado de las celdas o células que determinan los resultados emergentes y su atractivo es que las interacciones de los autómatas o entidades se basan en normas de comportamiento intuitivos y comprensibles en lugar de funciones de rendimiento. Su implementación en un computador es relativamente fácil en comparación de los modelos de microsimulación basado en ecuaciones diferenciales. Los modelos CA funcionan como idealizaciones discretas de las ecuaciones diferenciales parciales que describen flujos de fluido y permiten la simulación de las interacciones y flujos que de otra manera serían intratables (Wolfram, 1994). El modelo solo codifica la secuenciación y las normas locales, y se dejan las interacciones autónomas en la matriz celular para crear los resultados macroscópicos emergentes. Como resultado se ha

observado que las simulaciones CA que tienen modelos muy simples, son capaces de capturar las características principales y esenciales de un sistema de mayor complejidad (Bak, 1996).

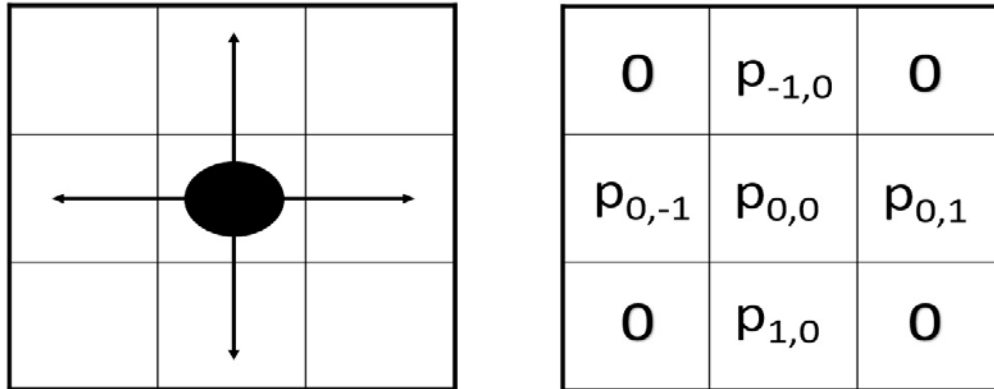
El CA también es utilizado en la modelación de flujos vehiculares, donde se observa una eficiencia sobresaliente y bien establecida que se debe al orden bidireccional que conservan los vehículos, sin embargo, en la modelación peatonal se tiene un campo de estudio más complejo y caótico que en los flujos vehiculares. Los pasillos o corredores peatonales pueden tener varias entradas y salidas, además de movimientos en varias direcciones. Las vías peatonales no son tan reguladas como son las carreteras. Adicionalmente los peatones no se canalizan, al contrario, son libres de variar su velocidad y ocupar cualquier parte del camino a diferencia de las carreteras donde el flujo de vehículos se separa por la dirección tomada. Las vías bidireccionales son algo común y no son una excepción donde el evitar accidentes es una preocupación menor para los peatones, por lo que los golpes ligeros y codazos son a menudo parte del tránsito peatonal en un pasillo con una gran densidad de peatones. Los peatones son capaces de cambiar la velocidad a una mayor cuando surgen brechas y pueden acelerar. Además, es normal ver grupos de peatones que caminan de lado a lado, en pelotones o formando carriles dinámicamente (Blue y Adler, 2001).

Los modelos CA son microscópicos y pueden ser diseñados para dar propiedades individuales a cada peatón. Son intuitivamente comprensibles y también el conjunto de reglas y propiedades individuales a tomar. Las

características de flujo surgen de la aplicación de la norma establecida para los viajeros individuales, tal emergencia se produce también en los viajes reales en la interacción de los viajeros individuales sin ningún control exterior.

El modelo CA estudia a cada individuo en el espacio reducido que ocupa y no solo analiza la probabilidad de moverse a otra zona vecina de forma lateral o frontal, sino también toma en cuenta factores psicológicos. Este modelo es discreto en el espacio y en el tiempo porque establece un número de celdas que representan los posibles movimientos, el espacio discreto se refiere al tamaño de las celdas y el tiempo discreto se refiere a que existe un tiempo definido para cada paso que puede darse.

Adler y Blue (2001) describen tres elementos fundamentales de los movimientos peatonales que un modelo microscópico bidireccional debe explicar: el paso a paso lateral, el movimiento hacia adelante y la mitigación de conflictos. El paso a paso lateral se refiere al deseo de un peatón para moverse lateralmente, ya sea para incrementar su velocidad o para evitar conflictos frontales. El movimiento hacia adelante debe ser adaptable a la velocidad deseada y a la colocación de otras personas en la cercanía inmediata (vecindad). La mitigación de conflictos se refiere a la manera en que los peatones que se acercan el uno al otro en direcciones opuestas logran evitar una obstrucción frontal, el movimiento que realizan es modelado mediante el intercambio de las posiciones de los peatones en direcciones opuestas con cierta probabilidad aleatoria. Esta innovación amplía la gama de densidades que el modelo puede procesar.

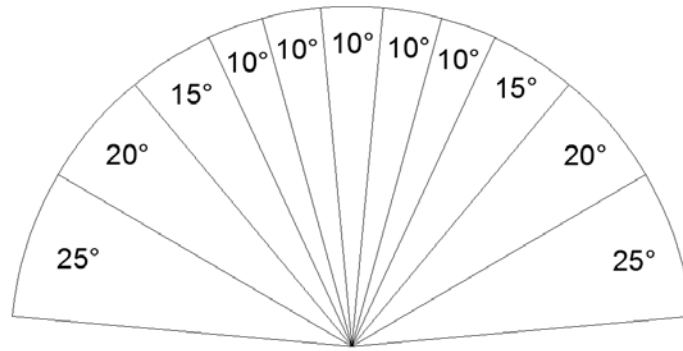


[Figura 13] Se muestra una partícula con sus posibles direcciones de movimiento y correspondientes probabilidades. Fuente: Adaptado de Adler y Blue, 2001.

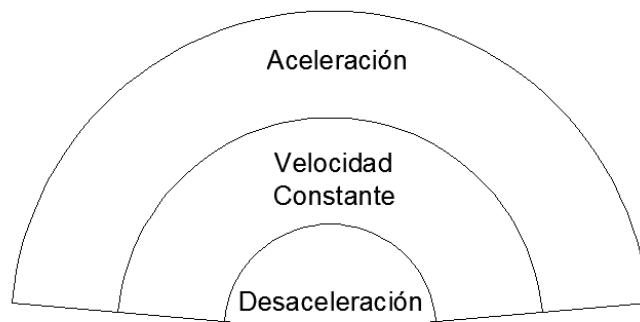
El conjunto de reglas se aplica en cada paso en el tiempo y consta de dos actualizaciones paralelas. En primer lugar, la asignación del carril y, en segundo lugar, los movimientos hacia adelante cambian las posiciones de todos los peatones en dos etapas de actualización en paralelo de acuerdo a las normas locales aplicables a cada uno de los peatones.

MODELO DEL SIGUIENTE PASO (NEXT STEP MODEL)

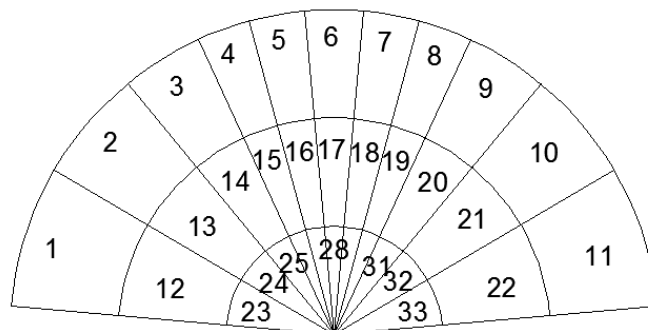
El modelo del siguiente paso es de elección discreta y describe un análisis de comportamiento de corto alcance. Este se caracteriza por incluir diferentes posibilidades de movimiento para considerar el cambio de dirección y cambio de velocidad resultando en 33 posibilidades diferentes. Este modelo profundiza más en el comportamiento y reacción de los peatones en el nivel operacional, a diferencia de otros modelos que se basan en conceptos puramente matemáticos o físicos (Robin, 2011).



[Figura 14] Discretización de las direcciones de movimiento. Fuente: Robin, 2011.



[Figura 15] Categorización de las velocidades de movimiento. Fuente: Adaptado de Robin, 2011

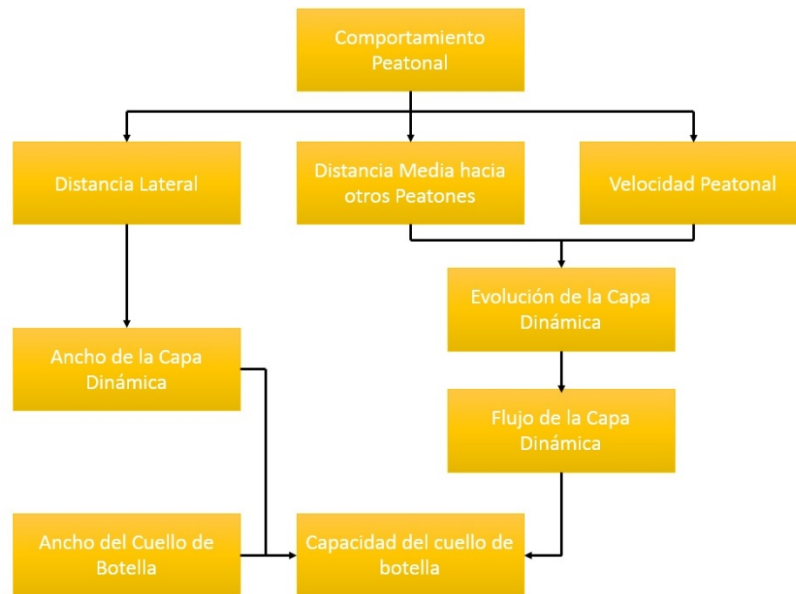


[Figura 16] Posibilidades de elección para los peatones. Fuente: Robin, 2011.

MODELO DEL COMPORTAMIENTO PEATONAL (PEDESTRIAN BEHAVIOR MODEL)

El modelo del comportamiento peatonal realiza un enfoque aún más detallado de comportamiento en el que se alega que los peatones toman decisiones siguiendo un esquema jerárquico: estratégico, táctico y operativo. Para esto se ha desarrollado un programa de simulación (SimPed) el cual considera la ruta, la actividad que realiza el sujeto y la interacción con los servicios de transporte público. Los destinos y actividades son escogidos en el nivel estratégico, las rutas a tomar son determinadas en el nivel táctico y finalmente las decisiones instantáneas ocurren mientras se camina e interactúa con el entorno y otros peatones en el nivel operacional (Daamen, 2004).

Hoogendoorn y Daamen (2001) explican que existen unas relaciones causales entre las características microscópicas y macroscópicas de los flujos peatonales. La figura 17 contiene una vista simplificada del comportamiento peatonal para dividirlo en distancia promedio hacia otros peatones, mantenimiento de la distancia lateral, y la velocidad peatonal. Estas características microscópicas a su vez determinan el ancho y evolución de las que denomina capas dinámicas, y los progresos adoptados dentro de estas capas. A partir de estos progresos los flujos de saturación de cada capa dinámica se pueden determinar. La forma en que se utilizan las capas y el ancho del cuello de botella determinará la capacidad del cuello de botella.



[Figura 17] Factores influyen en el nivel del flujo y en la distribución del comportamiento peatonal.

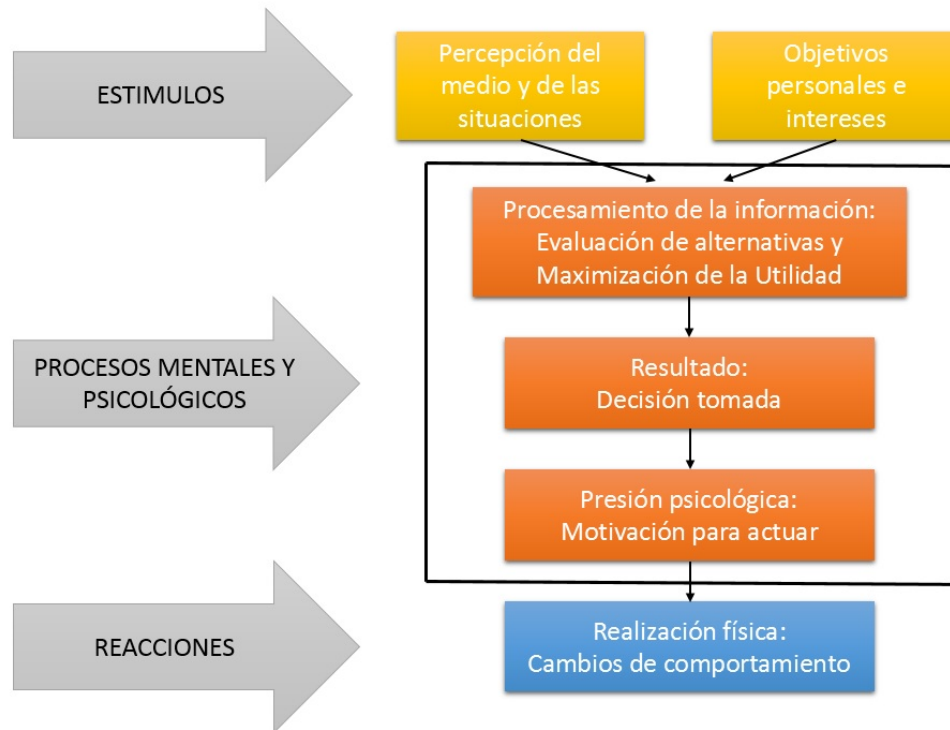
Adaptado de Hoogendoorn y Daamen (2004).

MODELO DE LA FUERZA SOCIAL (SOCIAL FORCE MODEL)

El modelo de la fuerza social propuesto Helbing y Molnar (1995) trata de describir el comportamiento peatonal a través de fuerzas de atracción y repulsión basadas en las leyes de Newton; en esta analogía, los peatones interactúan con el medio, obstáculos y otras personas que le ejercen “fuerzas sociales” las cuales determinarán la variación de la trayectoria, la velocidad y la aceleración la cual depende del destino del peatón analizado.

Según el planteamiento que se explica en la figura 18, el comportamiento del peatón es determinado por una serie de procesos cognitivos que determinan los cambios en el desplazamiento, por lo que un estímulo sensorial, principalmente visual, provocará una reacción que dependerá de los objetivos buscados por el

peatón el cual es seleccionada de un grupo de posibilidades del cual se elegirá la de mayor utilidad y que finalmente llevará a una acción física.



[Figura 18] Representación del proceso de cambio de comportamiento según el modelo de la fuerza social. Adaptado de Helbing y Molnar (1995).

Las fuerzas de atracción se originan por objetos como anuncios, tiendas y amigos; las fuerzas de repulsión se deben a la distancia que se mantiene respecto a otros peatones y obstrucciones como postes, basureros, etc.; estas fuerzas en el análisis de ecuaciones se detectan que decrecen con el tiempo, lo cual suena lógico porque se va perdiendo atención a un punto determinado y el peatón continua con su desplazamiento.

[Tabla 1] Clasificación del comportamiento de acuerdo a su complejidad. Fuente: Adaptado de Helbing y Molnar, 1995.

Clasificación del Comportamiento Respecto a su Complejidad		
Estímulo	Situaciones simples o estándar	Situaciones nuevas o complejas
Reacción	Reflejos, reacciones automáticas	Proceso de decisión, resultado de una evaluación
Caracterización	Muy predecible	Probabilística
Concepto modelado	Modelo de la fuerza social, etc.	Modelo de decisión teórica (decision theoretical model), etc.
Ejemplos	Movimiento del peatón	Elección del destino por el peatón

La tabla 1 realiza una clasificación de los comportamientos que puede elegir el peatón en situaciones estándar que son hasta cierto límite predecibles y otras que deben ser modeladas con leyes probabilísticas; sin embargo, es común que el peatón tenga una reacción automática ante el estímulo la cual es determinada por su experiencia que le dice cual elección será la mejor. Al tener la experiencia del peatón como punto de apoyo, entonces es posible modelar el movimiento a través de una ecuación (Sohrab Sahaleh, 2012).

La adaptación de las ecuaciones de Newton propuesta por Helbing y Molnar (1995) establece un cambio en el sistema temporal $d\vec{\omega}_\alpha/dt$ para una cantidad de movimiento $\vec{\omega}_\alpha$ en el tiempo, esta es descrita para un peatón α por la cantidad vectorial $\vec{F}_\alpha(t)$ que puede ser interpretada como la “fuerza social”. Esta fuerza representa el efecto que produce el medio (obstáculos u otros peatones) en el comportamiento del peatón. Adicionalmente, es importante

dejar claro que las fuerzas sociales no son ejercidas directamente por el medio, son más bien como una situación que motiva una acción. Esta motivación genera una fuerza de aceleración o desaceleración en el peatón como una reacción a la información recibida por el entorno lo que puede resumirse en que el peatón actúa como si estuviese bajo fuerzas externas.

La formulación físico-matemática del modelo se realiza al describir el movimiento de un peatón α .

Este peatón α desea llegar a un destino \vec{r}_α^0 lo más cómodamente posible. Por lo tanto, es de esperar que el peatón tratará de tomar el camino más corto. De esta manera, se puede describir un polígono por las posiciones $\vec{r}_\alpha^1, \dots, \vec{r}_\alpha^n := \vec{r}_\alpha^0$ los cuales definen la ruta escogida por el peatón α . Si \vec{r}_α^k es la siguiente posición que desea alcanzar, entonces su dirección deseada será:

$$\vec{e}_\alpha(t) := \frac{\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)}{\|\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha(t)\|} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde $\vec{r}_\alpha(t)$ denota la posición actual del peatón α en el tiempo t . Si se habla con mayor exactitud, los objetivos de llegada del peatón son más bien áreas que puntos \vec{r}_α^k . En este caso para todo tiempo t se tomará el punto más cercano $\vec{r}_\alpha^k(t)$ para cada área.

Si el movimiento del peatón no se altera, entonces este caminará en su dirección deseada $\vec{e}_\alpha(t)$ con una velocidad v_α^0 deseada. Una desviación de la velocidad actual $\vec{v}_\alpha(t)$ a partir de la velocidad deseada es $\vec{v}_\alpha(t) := v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha(t)$

debido a la necesidad de desaceleración o procesos que conducen a la tendencia de aproximarse a $\vec{v}_\alpha^0(t)$ dentro de un cierto tiempo dado por el factor de desaceleración τ_α . Esto puede ser descrito para términos de la aceleración de la siguiente forma:

$$\vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha) := \frac{1}{\tau_\alpha} (v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha - \vec{v}_\alpha) \quad [\text{Ecuación 2}]$$

El movimiento del peatón α está influenciado por otros peatones. Él tratará de mantener cierta distancia con los otros la cual dependerá de la densidad peatonal en el área y de la velocidad deseada v_α^0 . En este punto, *la esfera privada* de cada peatón, que puede ser interpretado como *el efecto territorial*, jugará un rol muy importante. El peatón normalmente siente un incremento en la incomodidad a medida que los otros peatones se acercan más a él por lo que este puede actuar de forma agresiva. Este efecto resultará en *fuerzas de repulsión* por parte de los otros peatones β que puede ser representado por el vector:

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha\beta}) := -\nabla_{\vec{r}_{\alpha\beta}} V_{\alpha\beta} [b(\vec{r}_{\alpha\beta})] \quad [\text{Ecuación 3}]$$

Se asumirá que el potencial repulsivo $V_{\alpha\beta}$ es una función decreciente y monótona de b con líneas equipotenciales que tienen la forma de una elipse que está dirigido en la dirección del movimiento. La razón para esto es que el peatón requiere espacio para dar un siguiente paso el cual es tomado en cuenta por otros peatones. b denota el semieje menor de la elipse y es dado por:

$$2b := \sqrt{(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\| + \|\vec{r}_{\alpha\beta} - v_{\beta}\Delta t\vec{e}_{\beta}\|)^2 - (v_{\beta}\Delta t)^2}$$

[Ecuación 4]

Donde $\vec{r}_{\alpha\beta} := \vec{r}_{\alpha} - \vec{r}_{\beta} := v_{\beta}\Delta t$ es del orden del ancho de paso del peatón β . Los peatones también mantienen cierta distancia con los bordes del área analizada como paredes, edificios, obstáculos en la vía, etc. El peatón se sentirá más incómodo mientras más cerca del borde esté por que tiene que prestar mayor atención para evitar hacerse daño, por ejemplo, al tropesarse con un basurero o chocar con un poste. Por lo tanto, el borde B ejerce una *fuerza de repulsión* y es descrito por:

$$\vec{F}_{\alpha B}(\vec{r}_{\alpha B}) := -\nabla_{\vec{r}_{\alpha B}} U_{\alpha B}(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\|)$$

[Ecuación 5]

con un potencial repulsivo y monótono $U_{\alpha B}(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\|)$. Aquí el vector de posición $\vec{r}_{\alpha B} := \vec{r}_{\alpha} - \vec{r}_{B}^{\alpha}$ es introducido donde \vec{r}_{B}^{α} denota la posición de cada pieza del borde B que se encuentra más cerca al peatón α .

Los peatones en algunas ocasiones son atraídos por otras personas (familia, amigos, etc.) u objetos (carteles llamativos, etc.). Este *efecto de atracción* $\vec{f}_{\alpha i}$ en los lugares \vec{r}_i puede ser modelado por un potencial de atracción, monótono y creciente $W_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t)$ de manera muy similar a los efectos de la fuerza repulsiva:

$$\vec{f}_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t) := -\nabla_{\vec{r}_{\alpha i}} W_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t)$$

[Ecuación 6]

Donde ($\vec{r}_{\alpha i} := \vec{r}_{\alpha} - \vec{r}_i$) y viene a ser la posición de la fuente de atracción (persona u objeto) respecto del peatón α . La principal diferencia entre las fuerzas de repulsión y la atractiva $\|\vec{f}_{\alpha i}\|$ es que esta última tiene un decremento que depende del tiempo t , esto se debe a que el interés del peatón hacia la fuente de atracción va disminuyendo. Las fuerzas de atracción son las responsables de la formación de grupos de peatones.

No obstante, los efectos de atracción y repulsión son solo válidas para situaciones que se perciben en la dirección $\vec{e}_{\alpha}(t)$ deseada. Las situaciones que ocurren detrás del peatón tienen menor influencia que se debe principalmente a la menor sensibilidad (sucesos que no se pueden observar o percibir) la cual se representa con una constante c con un rango de $0 < c < 1$, por lo que para tener el efecto de la percepción (es decir, el ángulo de visión efectiva 2φ) se tendrá que introducir el peso dependiente de la dirección:

$$\omega(\vec{e}, \vec{f}) := \begin{cases} 1, & \text{si } \vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos\varphi \\ c, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

[Ecuación 7]

Por lo tanto, los efectos de las fuerzas de repulsión y atracción del comportamiento peatonal están dados por:

$$\vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta) := \omega(\vec{e}_\alpha, -\vec{f}_{\alpha\beta})\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta),$$

$$\vec{F}_{\alpha i}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i, t) := \omega(\vec{e}_\alpha, -\vec{f}_{\alpha i})\vec{f}_{\alpha i}(\vec{r}_\alpha - \vec{r}_i, t).$$

[Ecuación 8]

Ahora se puede establecer la ecuación de la motivación $\vec{F}_\alpha(t)$ total de un peatón. Dado que todos los efectos antes mencionados influyen en la decisión de un peatón al mismo tiempo, entonces se puede asumir una superposición de efectos al igual que en un sistema de fuerzas, lo que da como resultado:

$$\vec{F}_\alpha(t) := \vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, v_\alpha^0 \vec{e}_\alpha) + \sum_\beta \vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta) + \sum_B \vec{F}_{\alpha B}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_B^\alpha) + \sum_i \vec{F}_{\alpha i}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i, t).$$

[Ecuación 9]

Finalmente, el modelo de la *Fuerza Social* queda definido por:

$$\frac{d\vec{\omega}_\alpha}{dt} := \vec{F}_\alpha(t) + \text{fluctuaciones} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

A la ecuación final se le añade las fluctuaciones que toman en cuenta las variaciones aleatorias del comportamiento de cada persona. Estas variaciones se deben a situaciones donde dos o más alternativas de movimiento son equivalentes, por ejemplo, para rodear un poste da lo mismo pasarlo por la izquierda que por la derecha. Además, las fluctuaciones toman en cuenta las

desviaciones accidentales o deliberadas de las reglas tomadas para el movimiento.

Para completar el dinamismo del modelo, se debe introducir la relación entre la velocidad real $\vec{v}_\alpha(t)$ y la cantidad de movimiento deseada $\vec{\omega}_\alpha(t)$. Dado que la velocidad real de un peatón está limitada por la velocidad máxima aceptable v_α^{max} , se asumirá que el movimiento realizado está dado por:

$$\frac{d\vec{r}_\alpha}{dt} = \vec{v}_\alpha(t) := \vec{\omega}_\alpha(t) g\left(\frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{\omega}_\alpha\|}\right) \quad [\text{Ecuación 11}]$$

Donde:

$$g\left(\frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{\omega}_\alpha\|}\right) := \begin{cases} 1 & , \text{si } \|\vec{\omega}_\alpha\| \leq v_\alpha^{max} \\ \frac{v_\alpha^{max}}{\|\vec{\omega}_\alpha\|} & , \text{ caso contrario} \end{cases} \quad [\text{Ecuación 12}]$$

El modelo de la fuerza social es uno de los más utilizados en el campo de estudio de la microsimulación por lo que está implementado en los más conocidos simuladores como el VISSIM o el SIMWALK, el modelo ha demostrado que es capaz de predecir las condiciones del flujo macroscópico con una precisión razonable. Pero no está claro si solo puede hacer predicciones macroscópicas razonables o es capaz de describir el comportamiento individual de un peatón también (P.Hoogendoorn y Daamen, 2007). El simulador que se utilizará en esta investigación es el VISSIM (VISWALK) el cual tiene el modelo de la fuerza social instalado en él.

En la presente investigación se analizará la vía principal de la PUCP y la recopilación de datos necesarios para la micro simulación serán principalmente extraídas de los videos aéreos del dron. No obstante, además de la micro simulación también se empleará la técnica de observación directa durante todo el trayecto para incluir ciertos criterios que no sean perceptibles en el video.

Los datos recopilados serán tabulados para obtener información necesaria como la proporción de varones y mujeres; y una velocidad promedio. Además, también se podrán observar patrones de comportamiento y las rutas que siguen los peatones, los cuales se complementarán con lo observado en el lugar para identificar a qué se deben estos patrones.

Los datos serán ingresados al software VISWALK y posteriormente serán calibrados, es decir, serán ajustados a los valores obtenidos en campo para poder obtener resultados coherentes al momento de realizar la simulación.

El programa VISWALK trabaja con el modelo de la Fuerza Social, este modelo propuesto por Dirk Helbing y Peter Molnar (1995) es muy simplificado, pero a pesar de esto, representa los fenómenos ocurridos de manera muy realista, las ecuaciones mostradas anteriormente permiten que los peatones tengan una auto-organización.

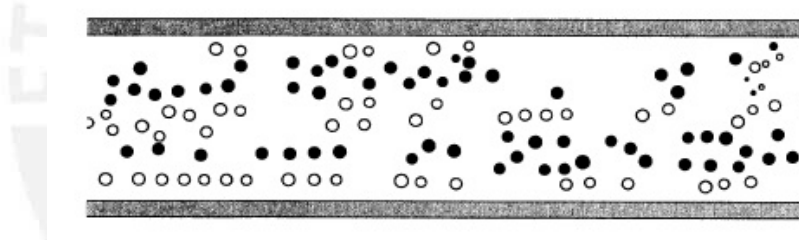
El modelo es explicado por su autor a través del ejemplo de movimiento de partículas que representan peatones en dos direcciones opuestas de un lado a otro del tramo. Para el modelamiento del flujo de peatones " α " se toman en cuenta las fluctuaciones, las fuerzas de atracción de otros objetos o peatones

“ β ” y las fuerzas potenciales repulsivas “ B ” que disminuyen exponencialmente según la ecuación (12) mostrada a continuación:

$$V_{\alpha\beta}(b) = V_{\alpha\beta}^0 e^{-b/\sigma}, U_{\alpha B}(\|\vec{r}_{\alpha B}\|) = U_{\alpha B}^0 e^{-\|\vec{r}_{\alpha B}\|/R}$$

[Ecuación 12]

Los peatones siempre mantendrán una distancia prudente dentro del ámbito de la vía en estudio. Se debe tomar en cuenta también el tiempo de relajación que es descrito como el tiempo que el peatón puede esperar para realizar un movimiento. Mientras menor sea el tiempo de relajación, más violentos serán los comportamientos entre peatones.



[Figura 19] *Tendencia a formar carriles en una vía. Fuente: Helbing y Molnar (1995).*

Otras variables a tener en cuenta son las siguientes: el ángulo de visión, los sucesos fuera de este tienen menor influencia en el comportamiento; y el hecho que los peatones que van en la misma dirección tienden a formar carriles. Este fenómeno es mostrado a través de la figura 19. Adicionalmente se puede observar una relación entre el ancho de la vía y el número de carriles de peatones que se forman.



[Figura 20] Formación natural de carriles de peatones en el Jirón de La Unión. Fuente: Propia, 2015.

La formación de carriles no surge de una configuración inicial de los peatones, sino de la interacción de estos. Esta característica del comportamiento ayuda a un desplazamiento más eficaz para los peatones porque evitan tener conflictos con obstáculos u otros peatones en su movimiento.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se dividió en cinco etapas. La primera abarca la revisión bibliográfica; la segunda, la recolección de datos; la tercera, el procesamiento de datos; la cuarta, el empleo del software y la quinta, la descripción de las actividades como parte del estudio de la vida pública.

La primera etapa, revisión bibliográfica, consistió en recopilar información acerca de conceptos claves para realizar el estudio; para ello, se definieron dos temas importantes. Estos fueron el espacio y la vida pública, y los modelos peatonales. Para la primera parte, se definieron los conceptos de espacio y vida pública, así como su importancia a lo largo de los años y los beneficios producto de su estudio. Asimismo, se identificaron los métodos para recopilar información y las consideraciones que se deben tener en cuenta. Para la segunda parte, se estudiaron los diferentes modelos peatonales, tanto para la macro como para la micro simulación peatonal, esto permitió comprender en cierta medida los fundamentos de los software que se emplean comúnmente.

Para la segunda etapa, recolección de datos, se utilizó un dron con el fin de observar el comportamiento de los peatones en la vía principal de la PUCP. Este, fue un modelo Phantom (Figura 21) controlado vía control remoto, al cual se le integró una cámara digital.



[Figura 21] Modelo de dron utilizado en el presente estudio: Phantom. Fuente: Propia

La grabación con el dron se realizó el día jueves 27 de agosto del 2015 desde el mediodía hasta la una de la tarde, en intervalos de quince minutos. Este proceso, como se muestra en la figura 22, se inició en la sección de la vía ubicada frente al Complejo de Innovación Académica (inicio de la vía en estudio) y culminó frente a la Biblioteca Central.



[Figura 22] Inicio de la vía peatonal PUCP. Fuente: Propia

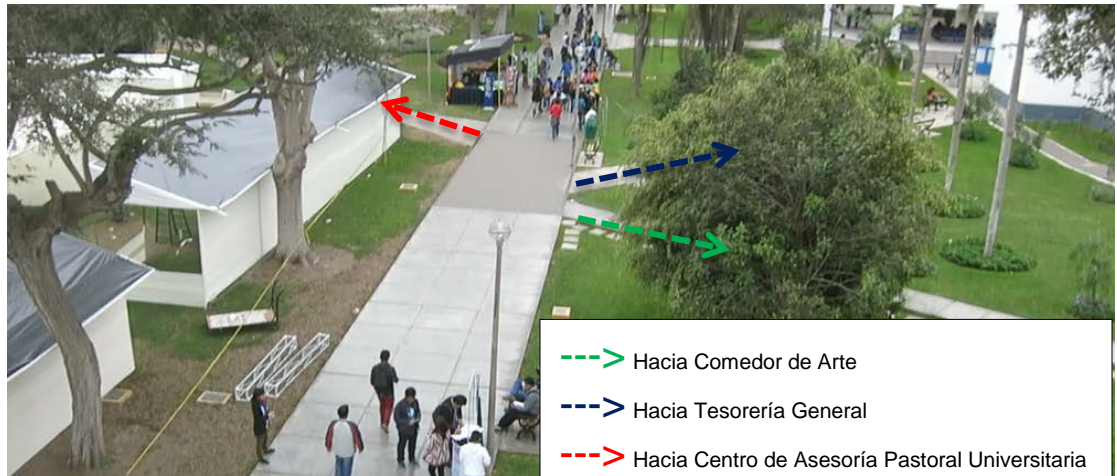
Asimismo, para obtener el volumen del flujo peatonal se realizaron conteos con ayuda de contadores manuales. Esta recolección de aforo peatonal se realizó el

mismo día y en el mismo periodo de tiempo pero en intervalos de diez minutos. En la figura 23 se muestra la sección analizada en esta actividad. Se ubicó una línea imaginaria como referencia para realizar el conteo en ambas direcciones como se detalla en la misma figura.



[Figura 23] Medición del flujo peatonal y línea de referencia en la vía peatonal PUCP. Fuente: Propia

La sección seleccionada poseía tres entradas/salidas secundarias peatonales; la primera correspondiente a un desvío hacia el comedor de arte, la segunda, dirigida a la tesorería general y la tercera, con destino al Centro de Asesoría Pastoral Universitario. Los anchos de estas eran 1.3, 2.6 y 2 m respectivamente (Figura 24).



[Figura 24] Entradas/Salidas peatonales de la vía peatonal del presente estudio. *Fuente: Propia*

Para hallar las velocidades se midió la geometría de la sección de la vía que se había seleccionado, se determinó que el ancho de la vía era de 4.5 m y se tomó una sección de largo de igual medida, en la cual, con la ayuda del video captado por el dron y de un cronómetro, se midió el tiempo necesario para cruzarla y con este valor poder calcular las velocidades.

Una vez terminada esta recolección de datos, se procedió a recorrer la vía e identificar y capturar en imágenes las principales actividades que se realizaban como parte del estudio de la vida pública (Figuras 25 y 26).



[Figura 25] Recorrido de la vía peatonal PUCP. *Fuente: Propia*



[Figura 26] Registro en fotografía de la vida pública en la vía PUCP. *Fuente: Propia*

La tercera etapa, el procesamiento de datos, comprendió dos puntos importantes. En primer lugar, se identificaron los volúmenes peatonales con los que se iba a trabajar, para este caso se obtuvieron seis registros agrupados en intervalos de diez minutos y se trabajó con los volúmenes acumulados. En segundo lugar, se analizaron los videos obtenidos con el dron, de donde se obtuvieron las velocidades peatonales, se identificaron las líneas de desplazamiento y, adicionalmente, se detectaron ciertos patrones relevantes para la investigación, tales como la formación de carriles, distancia entre peatones, entre otros.

En la cuarta etapa se empleó el software, VISWALK, para realizar la micro simulación. Para este proceso, se creó una réplica del tramo de la vía en estudio, en este modelo se insertaron las velocidades obtenidas y los parámetros que requería el programa. Antes de correr el programa, se calibró el modelo para que se acercara a la realidad, esto se logró al realizar una

comparación cualitativa con el video, para este caso se realizaron treinta simulaciones cuyos resultados fueron empleados en la etapa de calibración, por medio de una prueba no paramétrica (Randomization test).

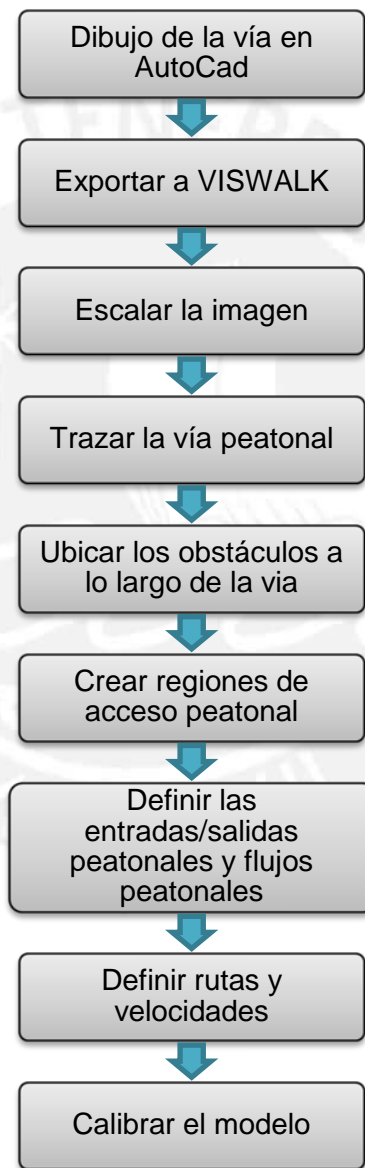
Finalmente, en la quinta etapa se describieron las actividades que se observaron previamente, como parte del estudio de la vida pública, así como la ubicación de estas a lo largo de toda la vía.



CAPITULO 4

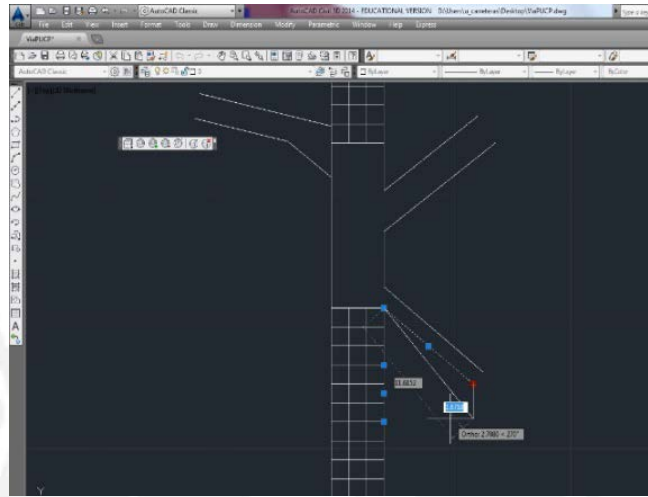
CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PEATONAL EN VISWALK

Para construir el modelo de micro simulación en VISWALK es necesario seguir un plan previamente elaborado. En la figura 27 se observan los nueve pasos que se siguieron durante la investigación.



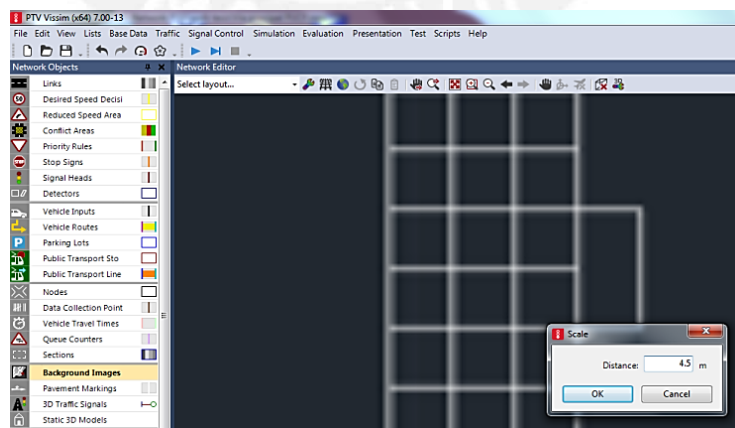
[Figura 27] Diagrama de flujo para el proceso de creación del modelo peatonal. Fuente: Propia

La construcción del modelo se inició realizando un dibujo de la vía, con sus características geométricas, en AutoCad, esto incluye ancho de entradas, otras vías de acceso y tamaño y ubicación de obstáculos que se observaron durante el estudio (Figura 28).

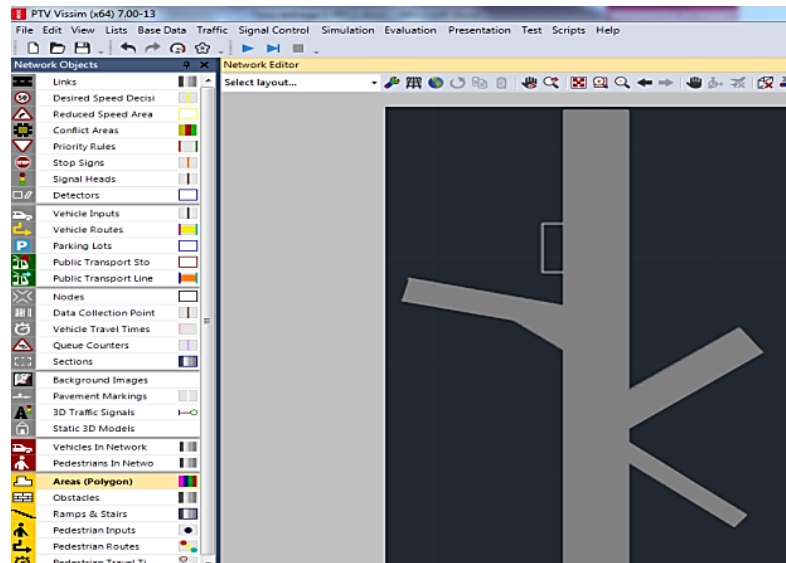


[Figura 28] Dibujo en AutoCAD de la sección de la vía a analizar. Fuente: Propia

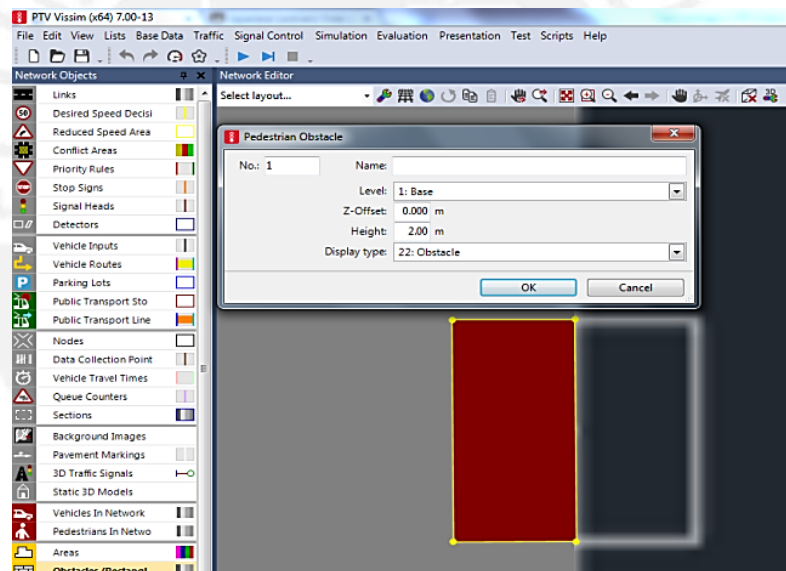
Una vez terminado este dibujo se exportó a VISWALK y se escaló con el valor real medido en campo. Se comenzó a dibujar la vía sobre la imagen y se ubicaron los obstáculos (Figuras 29 a 31).



[Figura 29] Ingreso de medida real para el ajuste de escala. Fuente: Propia

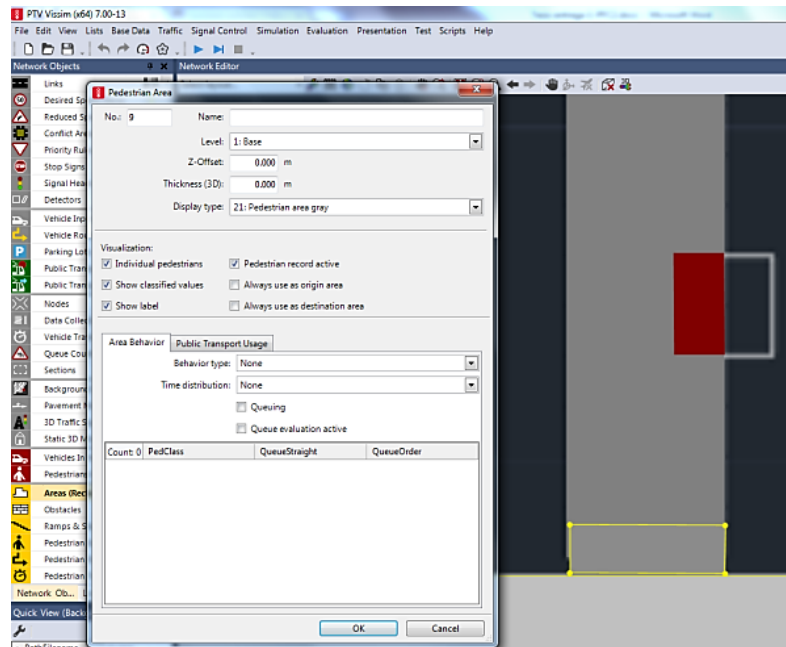


[Figura 30] Trazo de vía peatonal sobre imagen importada. Fuente: Propia

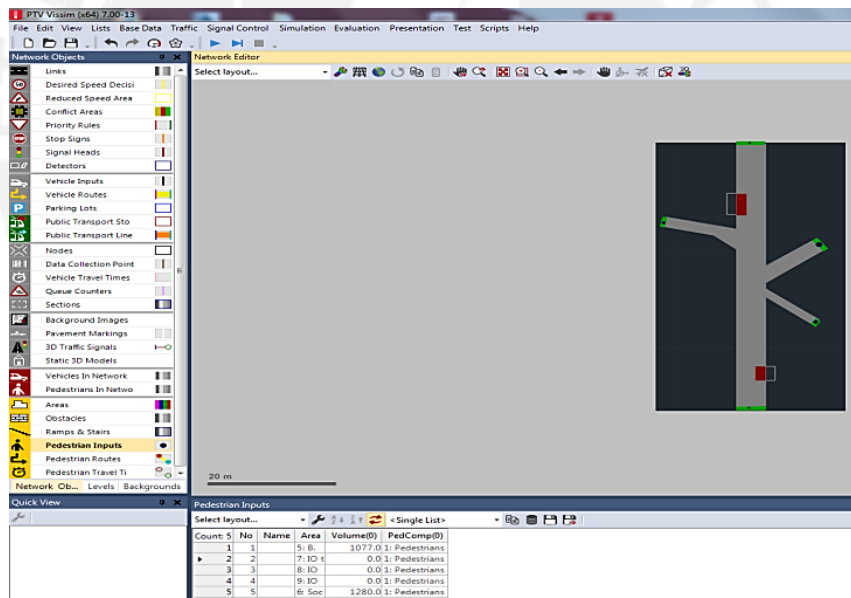


[Figura 31] Ubicación y características de los obstáculos en la vía peatonal. Fuente: Propia

Luego se crearon regiones de acceso peatonal que sirvieron como lugares de entrada para los peatones y estos ingresen ordenadamente a la vía (Figura 32). Posteriormente, se definieron las entradas y salidas con los respectivos flujos (Figura 33).

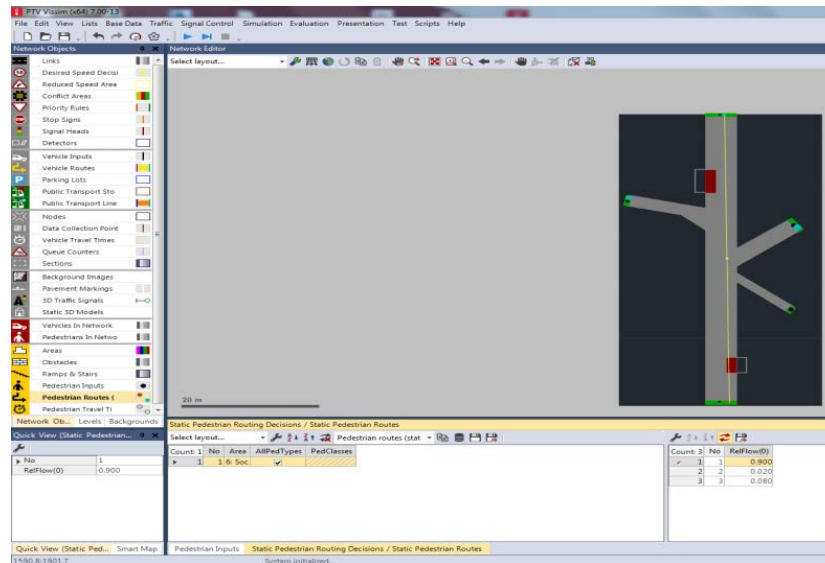


[Figura 32] Creación de regiones en los accesos de la vía. Fuente: Propia

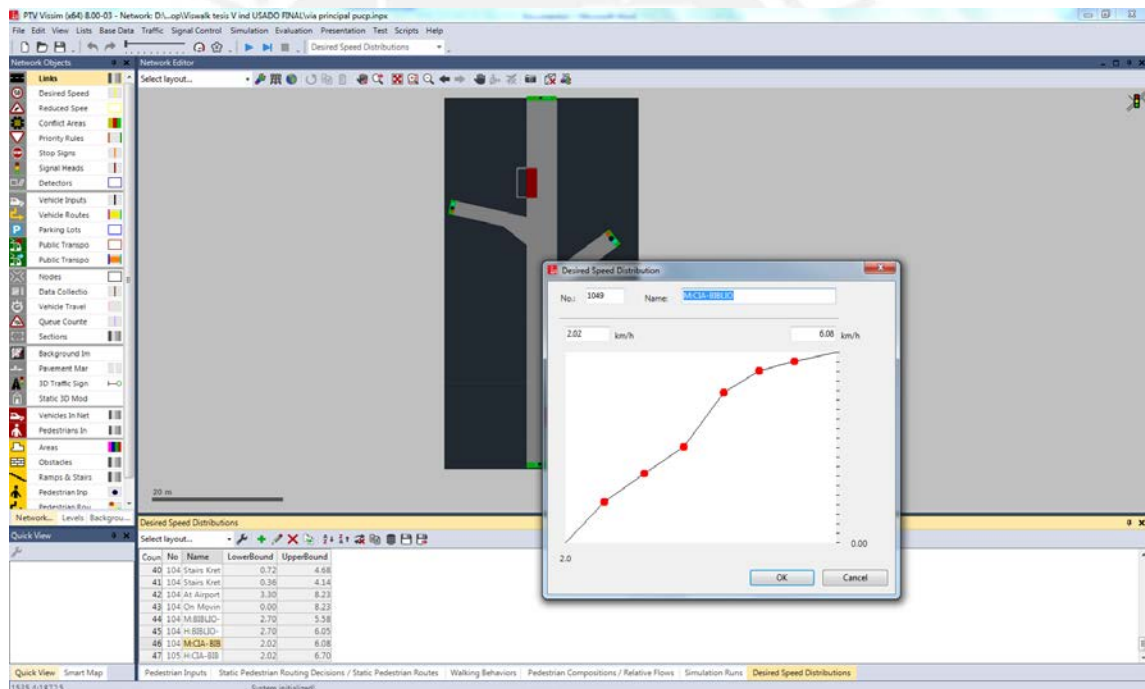


[Figura 33] Entradas y salidas peatonales con los flujos correspondientes. Fuente: Propia

Asimismo, se definieron las rutas y las velocidades, las cuales fueron halladas por medio del análisis del video captado por el dron (Figuras 34 y 35).



[Figura 34] Definición de rutas y flujos peatonales. Fuente: Propia



[Figura 35] Ingreso de velocidades con sus respectivas frecuencias según género y sentido. Fuente:

Propia

Finalmente se comenzó con la calibración, proceso que se dividió en dos etapas, la calibración cualitativa y la cuantitativa.

Para realizar la primera etapa, se modificaron los parámetros “ τ ” y “ λ ” que posee el software, el primero controla la aceleración, mientras menor sea su valor, mayor será la aceleración del peatón; el segundo controla la influencia de los demás peatones sobre un peatón, a mayor valor, se tendrán mayores densidades y flujos. Estos parámetros fueron modificados hasta que el comportamiento peatonal observado en el software y en el video, captado por el dron, resultó similar, como se muestra en la figura 36. Para este caso, los valores que se utilizaron para “ τ ” y “ λ ” fueron 0.48 y 0.70, respectivamente.



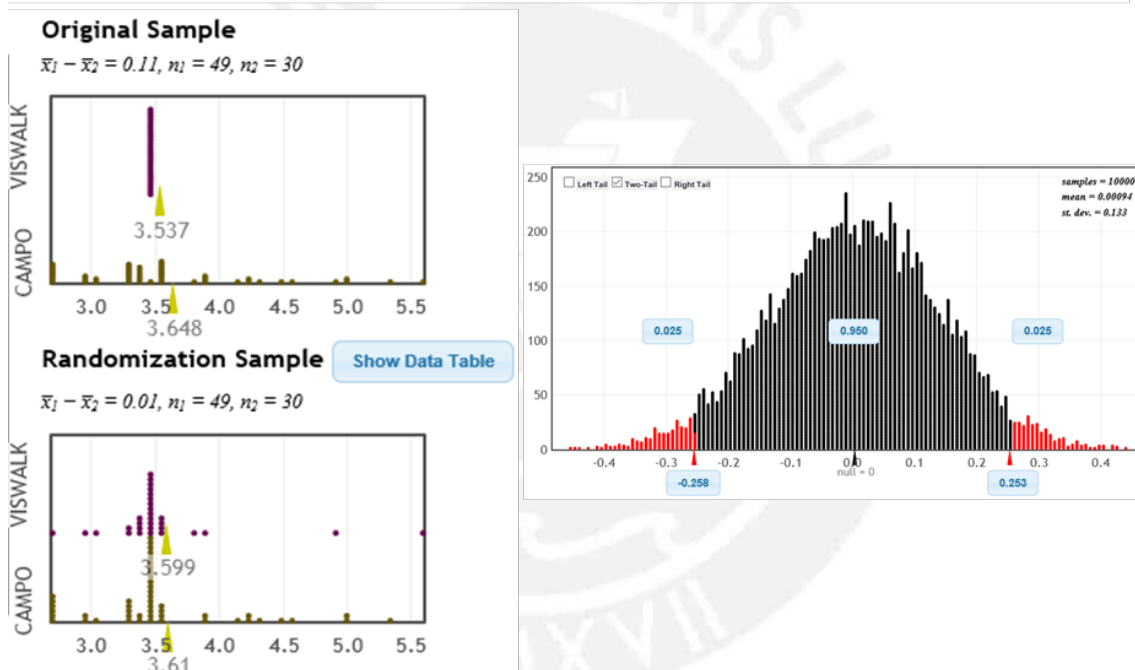
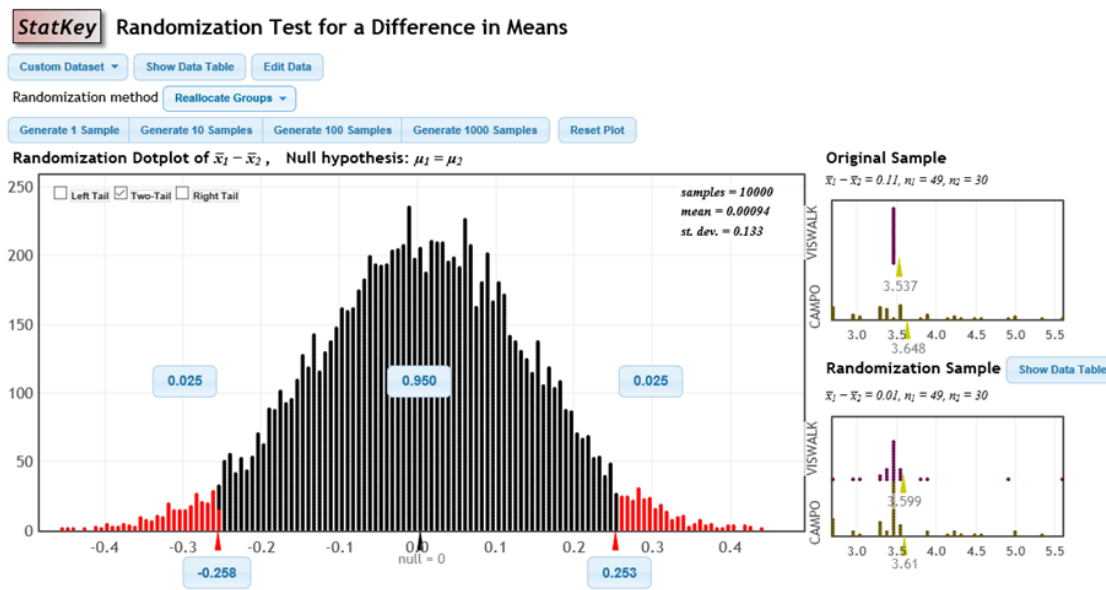
[Figura 36] Calibración cualitativa del modelo peatonal en VISWALK. Fuente: Propia

Con este modelo se realizaron treinta simulaciones, previamente se configuró el programa para que comenzara a recopilar resultados a partir del minuto diez, ya que este es el periodo de tiempo que le toma a la red para que se normalicen los flujos y velocidades (warm up).

Para la segunda etapa, se tomaron los valores de velocidades arrojados por el software y se seleccionaron, aleatoriamente, cincuenta valores de las

velocidades halladas del análisis del video. Con esos datos, se realizó una prueba no paramétrica a través de una prueba de aleatorización (Randomization Test for a Difference in Means) en la página web StatKey, la cual se basa en la prueba de la hipótesis nula y alternativa para corroborar supuestos. Esta prueba consistió en realizar una comparación entre los valores de velocidades correspondientes al software y al hallado en el video; para ello, se generaron diez mil permutaciones.

Como se muestra en la figura 37, el nivel de confianza de la prueba fue del noventa y cinco por ciento, también se observa que la diferencia de medias entre los datos obtenidos por el software y las velocidades mediante análisis del video fue de 0.11 y que este valor se ubicó dentro de la región de aceptación, lo que demuestra que el modelo realizado en VISWALK se ajusta a la realidad.



[Figura 37] Resultados de la prueba de aleatorización. Fuente: Propia

Concluidos todos los pasos se puede asegurar que el modelo arrojó datos cercanos a lo que ocurrió en campo, con los cuales se trabajó y, de esta forma, obtener conclusiones coherentes.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos tanto con la observación directa, que incluye la recolección de datos de manera física como son los flujos peatonales, el estudio de vida pública y un mapeo de las actividades del área de estudio; la recolección de datos de la video grabación del dron como las líneas de desplazamiento y las velocidades peatonales en campo; y los resultados obtenidos de la microsimulación con el programa Viswalk los cuales después de un proceso de modelado y calibración, detallado en el capítulo anterior, se obtiene como resultado los siguientes datos: las velocidades de los peatones; los tiempos de viaje y datos estadísticos como la desviación estándar, velocidad promedio y el tiempo promedio de viaje.

5.1. FLUJOS PEATONALES

El flujo peatonal es el registro de la cantidad de peatones que atraviesan una sección determinada de la vía en un intervalo de tiempo establecido.

La primera columna de datos de las tablas 2 y 3 corresponden al flujo acumulado, es decir, al conteo de peatones total hasta el tiempo establecido. En la segunda columna está el flujo parcial o conteo peatonal para cada intervalo. La diferencia del flujo peatonal entre ambos sentidos es mínima. El flujo peatonal en una hora es aproximadamente 1100 personas en ambos sentidos, pero se utilizaron los flujos acumulados para el modelado en Viswalk.

[Tabla 2] Volumen peatonal en el sentido del Complejo de Innovación Académica hacia la Biblioteca

Central. Fuente: Propia

HORA	FLUJO ACUMULADO	FLUJO PARCIAL
12:00-12:10	271	271
12:10-12:20	573	302
12:20-12:30	780	207
12:30-12:40	915	135
12:40-12:50	1081	166
12:50-13:00	1280	199

[Tabla 3] Volumen peatonal en el sentido de la Biblioteca Central hacia el Complejo de Innovación

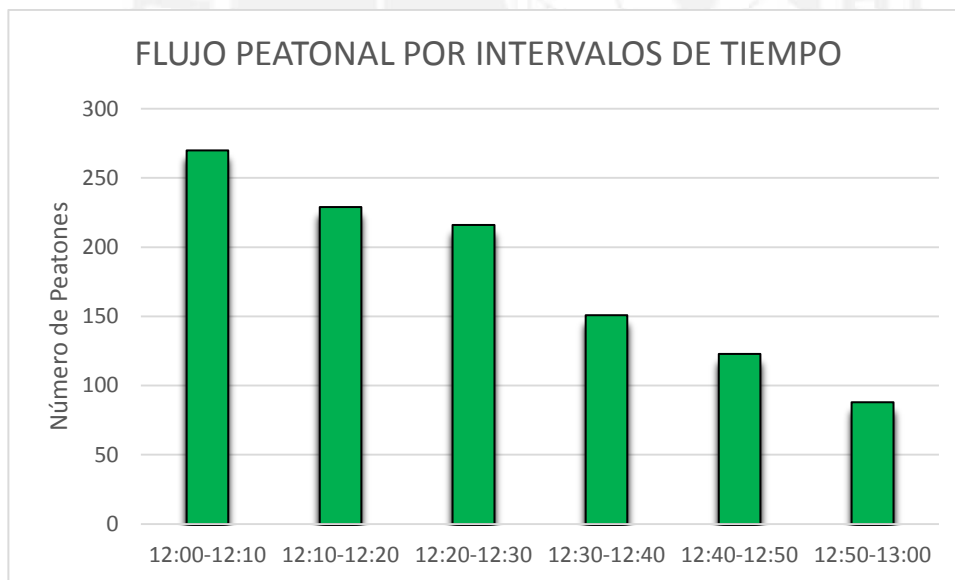
Académica. Fuente: Propia

HORA	FLUJO ACUMULADO	FLUJO PARCIAL
12:00-12:10	270	270
12:10-12:20	499	229
12:20-12:30	715	216
12:30-12:40	866	151
12:40-12:50	989	123
12:50-13:00	1077	88

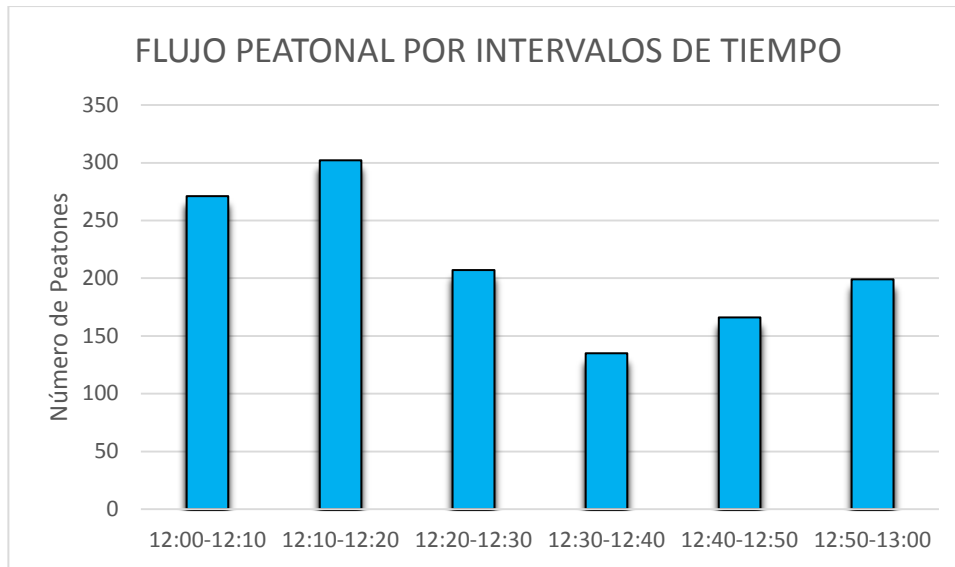
El flujo peatonal total en la vía principal no detalla el porcentaje de personas por género lo cual es muy importante para el modelo por lo que este dato fue obtenido por medio de la videograbación. Otro dato importante que no se

observó por este medio es el número de peatones que utilizan las vías secundarias tanto de entrada como de salida; el programa Viswalk trabaja con un flujo total de peatones y las derivaciones obtienen su volumen por medio de porcentajes que se les asigna a cada una de estas, por lo que bastó con obtener este porcentaje de la videograbación.

Adicionalmente, se puede observar que los valores de flujo parcial están alrededor de los 200 peatones por cada 10 min; sin embargo, la variación entre cada conteo por intervalo no es constante. En las figuras 38 y 39 se observa una tendencia a la disminución en la cantidad de peatones conforme avanza los intervalos de tiempo por lo que se detectó que el mayor flujo peatonal se da en los primeros minutos.



[Figura 38] Flujo de peatones por intervalos de tiempo en el sentido de biblioteca central hacia el complejo de innovación académica. Fuente: Propia



[Figura 39] Flujo de peatones por intervalos de tiempo en el sentido de complejo de innovación académica hacia la biblioteca central. Fuente: Propia

Este fenómeno sucede al inicio de cada hora, por lo que se llegó a la conclusión que este coincide con el fin de cada clase; es decir, los estudiantes se retiran de las aulas en los primeros minutos de cada hora. Es importante la observación de este fenómeno porque se evidencia que la sugerencia para el conteo de peatones dada por Gehl (2013) no es válida para el flujo peatonal en ambientes universitarios. Gehl sugiere que para obtener el flujo peatonal total de una hora es suficiente con tener el conteo de los primeros 10 minutos y luego multiplicarlo por seis. Si se tomara en cuenta esta sugerencia, en el caso del primer sentido se tendría un valor flujo peatonal por hora 30% mayor al flujo total real y en el caso del segundo sentido el aumento sería de un 50%.

5.2. ESTUDIO DE VIDA PÚBLICA

El Registro del estudio de la vida pública se realizó con un mapeo total de la vía. Se buscó identificar las actividades que se realizaban a lo largo de la vía principal de la PUCP, estas actividades varían desde grupos de personas conversando hasta grupos culturales con actividades variadas. A continuación se presentan las actividades, que se observaron durante el estudio.



[Figura 40] Grupo de peatones conversando en la vía peatonal PUCP. Fuente: Propia

En la figura 40 se observa a un grupo cuatro peatones que se habían detenido a conversar en la intersección de la vía principal de la PUCP con dos vías secundarias. Este comportamiento se detectó que es común en las zonas de la vía que están conectadas a ramificaciones, por lo que se llegó a la conclusión que esto sucedía porque las personas se detenían a terminar su conversación para luego tomar distintas trayectorias. Como se puede observar, ellos se encontraban más cerca al borde derecho de la vía por lo que los demás peatones se vieron obligados a verlos como un obstáculo y a trazar una nueva

trayectoria por el lado izquierdo de ellos. Adicionalmente, se observó que ellos ocupaban casi la mitad del ancho de la vía por lo que se puede deducir que en estos puntos de intersección con ramificaciones la capacidad de la vía es menor a la mitad. Este fenómeno de la reducción de la capacidad ha generado que en algunos puntos de la vía peatonal las personas se vean obligadas a caminar por fuera de la acera para poder rodear el obstáculo lo que adicionalmente ocasiona daños en las áreas verdes del campus por el paso repetitivo por estas zonas.



[Figura 41] Estudiantes en actividades artísticas en la vía peatonal PUCP. Fuente: Propia

En la figura 41 se observa a estudiantes que se encontraban realizando actividades recreativas artísticas en los bordes de la vía peatonal de la PUCP en frente de la facultad de Educación. Se observó que, al no encontrar un lugar adecuado para estas actividades, los estudiantes utilizaban de forma inadecuada las áreas verdes del campus y en muchos casos se generaban daños como los observados en la figura, donde se aprecia una planta que ha sido pisoteada. Las actividades artísticas como estas influían en los peatones

que se encontraban en la vía. Los que se desplazaban cerca a este borde disminuían su velocidad para poder escuchar y observar a los músicos. Si bien en este caso la influencia de estos estudiantes sobre los peatones de la vía no es mucha, se ha detectado que en el caso de actos artísticos con mayor elaboración como el observado en la figura 26. Esta influencia puede ser muy importante porque se comprobó que los peatones llegaron a detenerse en la vía para poder observar y escuchar el acto. En estos casos los peatones se retiraron de la vía y se aglomeraron en las áreas verdes; los que se quedaron en la acera escuchando obstruyeron el paso a los demás peatones que seguían circulando por lo que se volvieron un obstáculo que obligó a muchos de los peatones a caminar por fuera de la vía peatonal para poder atravesar la zona de saturación peatonal. Finalmente se llegó a la conclusión que en el caso de actividades artísticas, como conciertos, se deberían realizar más alejadas de la vía peatonal para que no generen estos problemas de saturación.



[Figura 42] Detalle de actividades de lectura en la vía PUCP. Fuente: Propia

En la figura 42 se observa a una estudiante utilizando este espacio público, ubicado en frente de la facultad de Ciencias Sociales, para leer un libro. Las bancas que se encuentran en el borde de la vía son utilizadas comúnmente para este tipo de actividades. Es importante aclarar que este tipo de uso se da por cuestiones de preferencias personales de cada estudiante para elegir el lugar donde leer dado que el campus posee otros sitios para una lectura más silenciosa tales como el complejo de innovación académica, la biblioteca central, la biblioteca de ciencias sociales, entre otros. Las personas que se encuentran en este tipo de actividades en las bancas no tienen una influencia sobre el desplazamiento peatonal en la vía debido a que las bancas se encuentran fuera del ancho de la acera; solo se podría encontrar que generen influencia sobre otros peatones que necesariamente conozcan a la persona en la banca, en ese caso pasaría a convertirse en una fuente de atracción como en la figura 43.



[Figura 43] Estudiantes conversando en la vía PUCP. Fuente: Propia

En la figura 43 se observa que la persona sentada en la banca que se encuentra ubicada frente al comedor de la facultad de arte sí ha tenido influencia sobre los peatones que se encontraban caminando por la vía; esto solo es posible, como ya se explicó líneas arriba, cuando los peatones conocen a esta persona y esta se convierte en una fuerza de atracción lo que a su vez ocasiona que los peatones se vuelvan obstáculos en la vía. Como se puede observar, los peatones no generaron un obstáculo significativo en la vía porque son solo tres. Adicionalmente, se puede mencionar que para efectos de la modelación en el programa el efecto de influencia de las personas sentadas en las bancas es menor al de las actividades artísticas con influencia sonora o al de las personas detenidas conversando en la vía por lo que no se tomó en cuenta como una fuente de atracción significativa.



[Figura 44] Grupos de ayuda social en actividades de reclutamiento. *Fuente: Propia*

En la figura 44 se observa la presencia de grupos de reclutamiento para actividades variadas tales como ayuda social, deportes, lectura, cultura entre

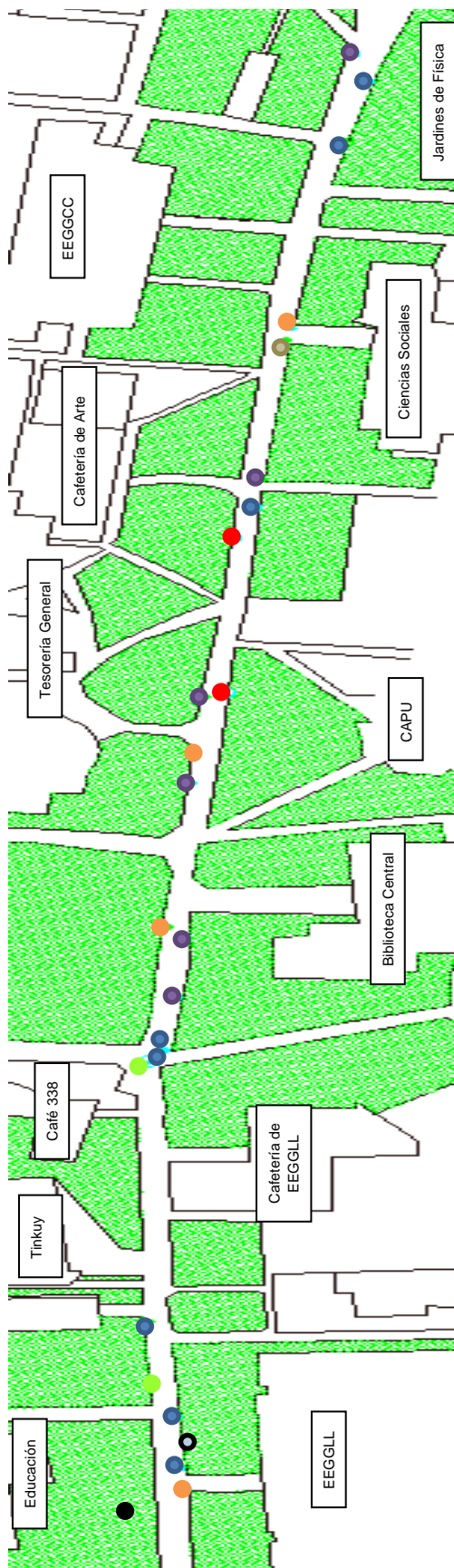
otros. La labor principal de estos puestos es servir de puente informativo entre los miembros de la organización y los posibles nuevos integrantes de la comunidad. En la sección de análisis seleccionada se tiene dos puestos de este tipo, uno correspondiente a INFOPUC encargado de dictar cursos de informática y el otro es el del CAPU que realiza labor social en zonas urbano marginales. Los miembros de estos, en su mayoría estudiantes, buscan atraer a los peatones que circulan en la vía de diferentes maneras tales como la colocación de anuncios e imágenes llamativas o la ubicación estratégica de algunos miembros del grupo en la vía peatonal que se encargan de dar una información preliminar con el objetivo de despertar el interés en lo que se ofrece. Algunos peatones llegaron a mostrar interés y dejaron de caminar para acercarse a un puesto para recibir información, pero en su mayoría trataron de evitar tener contacto y bordeaban a los miembros que se encontraban en la vía por lo que se llegó a la conclusión de asignar a los puestos informativos un carácter de fuerza repulsiva más que uno de atracción. Adicionalmente, se observó que no existe la infraestructura adecuada para que estos puestos se puedan instalar en la vía sin que interrumpen el tránsito peatonal.



[Figura 45] Afiches colocados a lo largo de la vía. *Fuente: Propia*

En la figura 45 se observa que en el momento del análisis se tenían afiches o carteles infográficos sobre investigaciones recientes los cuales estaban colocados en el borde de la vía, estos generaban que los peatones se detengan a leer y en algunos casos a dialogar sobre el tema. Se observó además que la fuerza atractiva del cartel dependía de dos factores principales que son: lo llamativo de su estilo y su cercanía a la vía peatonal. Al igual como en la figura 42, los peatones que se desplazaban cerca a este borde disminuían su velocidad al sentir atracción por los carteles; sin embargo, la mayoría no se detenía a leer por lo que su atracción no es lo suficientemente representativa para una modelación en Viswalk.

Finalmente, en la figura 46 se detalla las actividades estacionarias y la cantidad de personas que se observaron durante el recorrido de la vía.

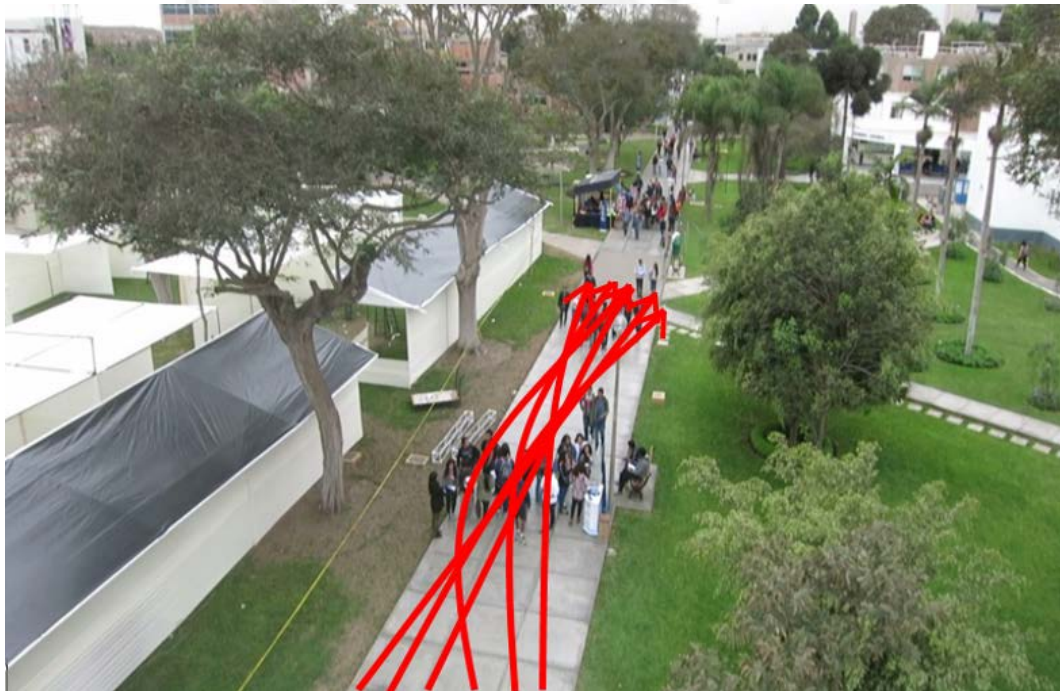


- Grupo de 4 personas conversando
- Pareja dialogando
- Grupo de 3 personas conversando
- Grupo de 5 personas conversando
- Grupo de 10 personas atraídas por módulo instalado
- Grupo de 7 personas conversando
- Grupo de 2 personas realizando actividades musicales
- Grupo de 3 personas en módulo de inscripción para actividades recreativas.

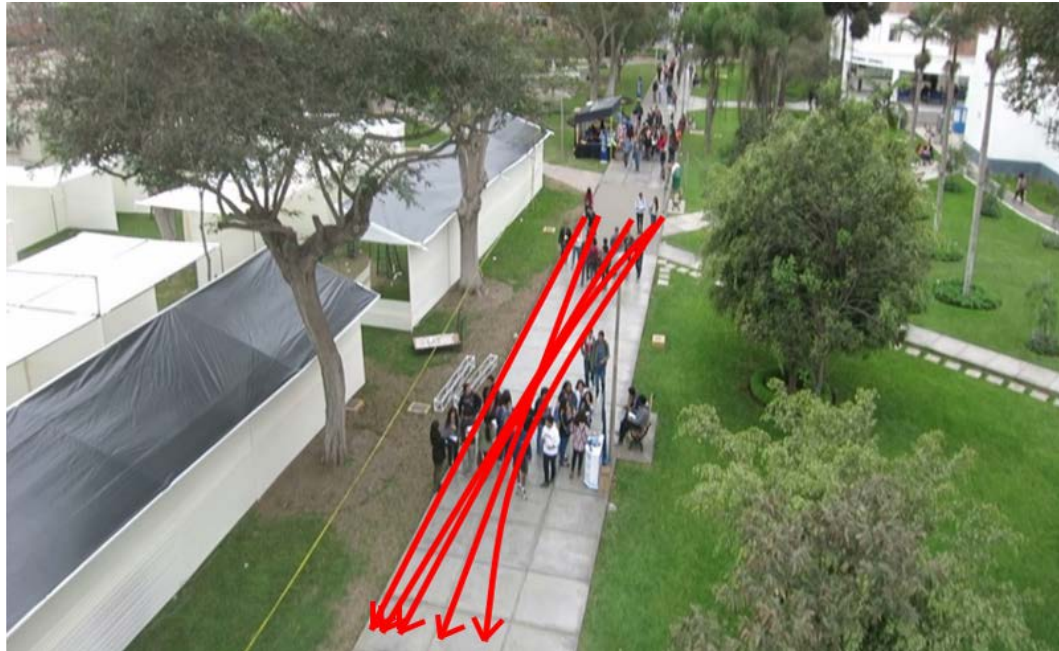
[Figura 46] Mapeo de la vía principal peatonal PUCP y las actividades que se realizaban. Fuente: Propia

5.3. LÍNEAS DE DESPLAZAMIENTO

Las líneas de desplazamiento son las trayectorias descritas por los peatones. Para su registro se debe realizar el seguimiento de cada uno de los peatones y luego describir su movimiento a través de una línea que representa ser la trayectoria tomada. Estos datos son los primeros que fueron registrados de la videograbación del dron. La figura 47 corresponde al sentido de biblioteca de ciencias e ingeniería hacia la biblioteca central y la figura 48 al sentido opuesto.



[Figura 47] Líneas de deseo para el desplazamiento en el sentido de la biblioteca de ciencias e ingeniería hacia la biblioteca central. *Fuente: Propia*

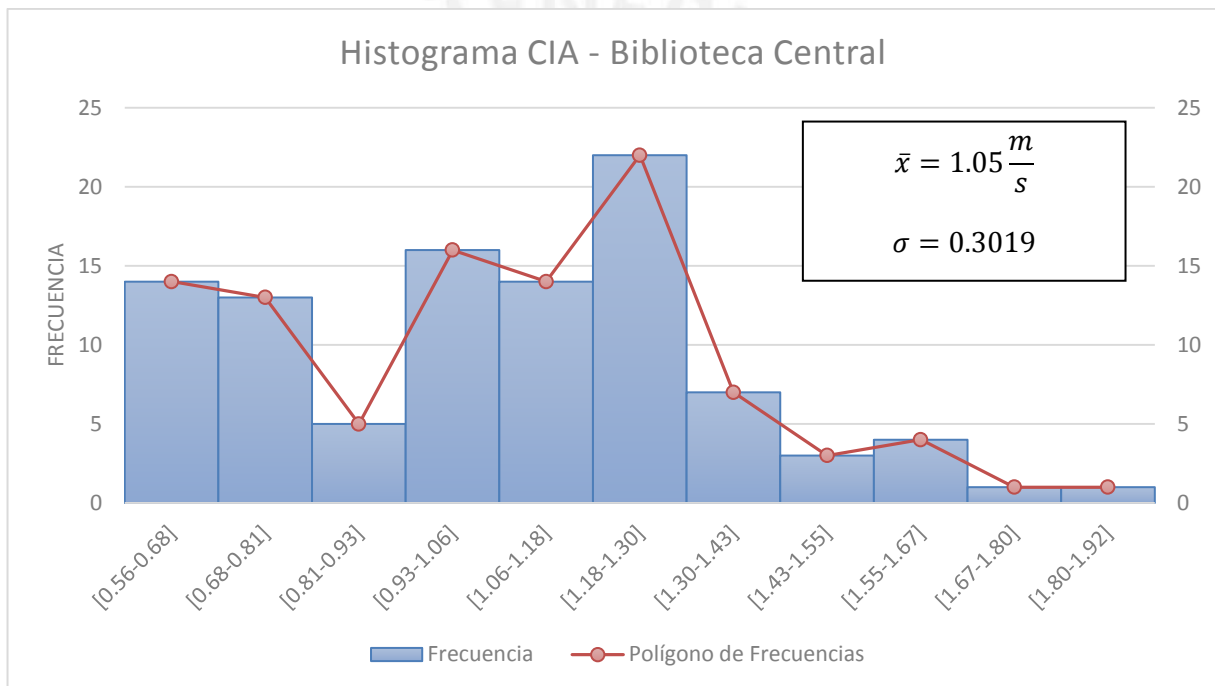


[Figura 48] Líneas de deseo para el desplazamiento en el sentido de la biblioteca central hacia la biblioteca de ciencias e ingeniería. Fuente: Propia

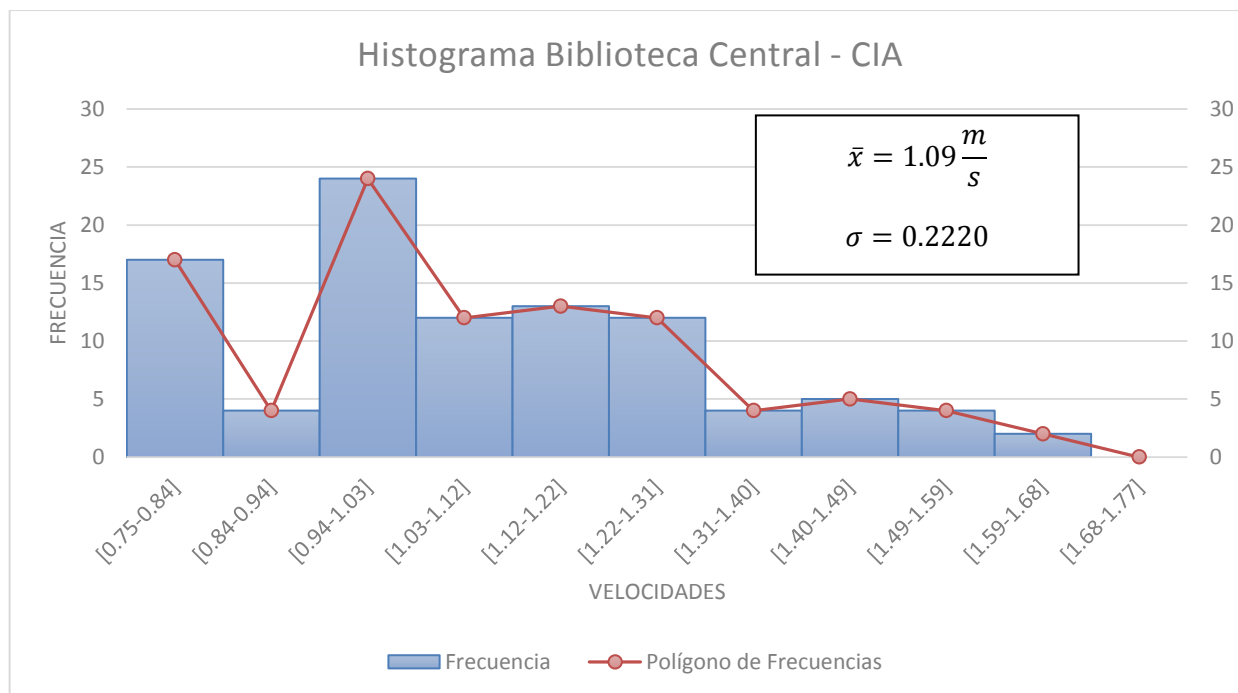
En ambos sentidos es evidente que los peatones bordean el puesto informativo instalado en la vía. Las líneas son de mayor tendencia curva en la figura 47 que en la figura 48 donde se aprecia una tendencia con mayor cantidad de líneas rectas. Esto se debe a que los peatones tienden a caminar por el lado derecho de la vía, por lo que en el primer caso (figura 47) los peatones debieron realizar una mayor modificación en su trayectoria dado que el puesto se encontraba obstruyendo este lado de la vía. En el caso del otro sentido (figura 48) no se tenía este obstáculo por lo que las trayectorias tuvieron una menor modificación y se mantuvieron rectas. El análisis de las trayectorias es esencial para la modelación en Viswalk porque se buscará que el modelo resultante siga representando este fenómeno lo más acertadamente posible.

5.4. VELOCIDADES PEATONALES

Las velocidades peatonales y los datos estadísticos obtenidos son los resultados más relevantes de la presente investigación. Estas se obtuvieron en m/s para luego ser transformadas a Km/h como demanda el modelo de simulación. En las figuras 49 y 50 se resume las velocidades obtenidas en este registro de datos (Anexos 1 y 2).



[Figura 49] Velocidades de desplazamiento por grupos de personas sentido del complejo de innovación académica hacia la biblioteca central. Fuente: Propia

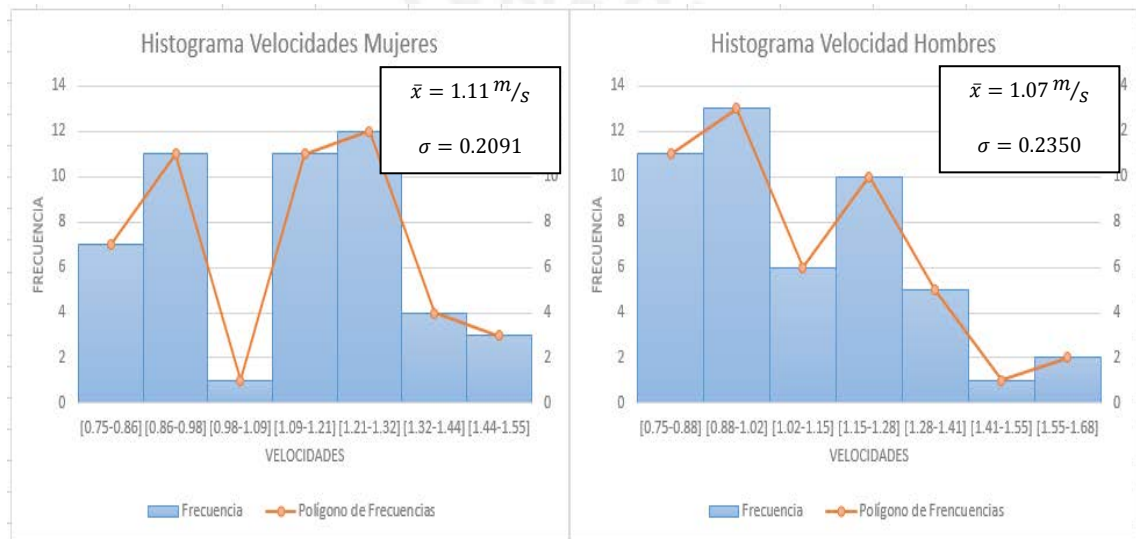


[Figura 50] Velocidades de desplazamiento por grupos de personas sentido de la biblioteca de central hacia la biblioteca de ciencias e ingeniería. Fuente: Propia

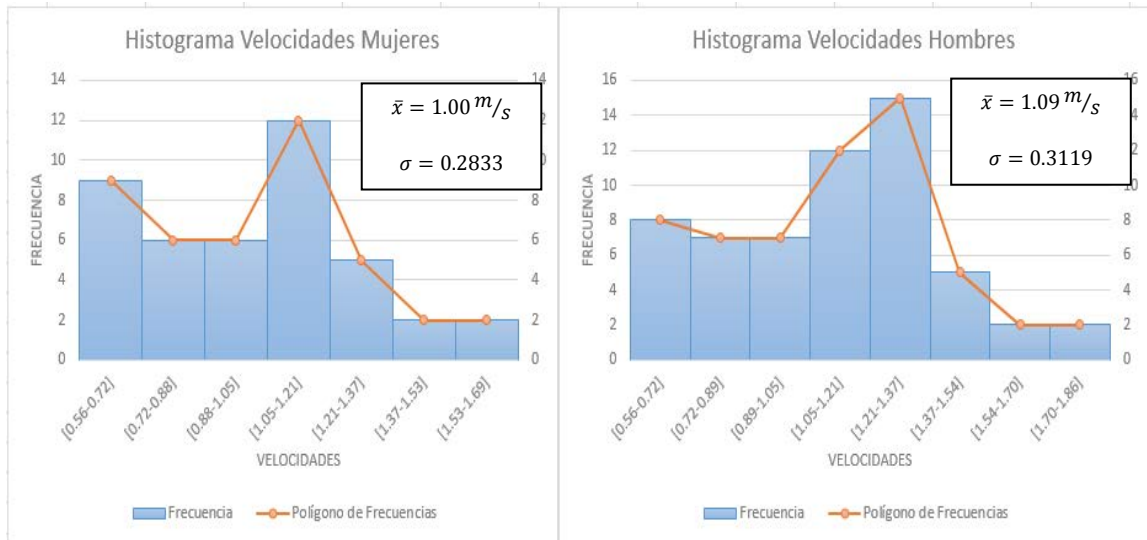
Como se puede observar las velocidades oscilan entre 0.9 m/s (las más bajas correspondientes a grupos de personas que por la naturaleza de ir en conjunto disminuyen su velocidad para mantenerse juntos) y 1.5 m/s (velocidad de peatones que se desplazaban sin compañía). La velocidad promedio de los peatones es cercana a 1m/s lo cual es la velocidad representativa de la vía. Esta velocidad promedio alta se puede atribuir a que los peatones son en su mayoría jóvenes con edades comprendidas entre los 16 y 27 años. El día del estudio la temperatura era de 22°C con un cielo nublado; es importante mencionar esto por que influye en las velocidades de los peatones.

Adicionalmente, se puede observar que existe un pico en las velocidades en la figura 50, este valor corresponde a un peatón que atravesó la vía corriendo por

lo que se puede asumir como un valor atípico y no representativo en la vía. También, se llegó a registrar que además de peatones la vía era utilizada por ciclistas los cuales estaban infringiendo la norma de convivencia dentro del campus que establece que el paso de bicicletas se debe realizar por las vías secundarias que bordean el campus y no por la vía principal, es por esto y por la cantidad no representativa de ciclistas que se encontró que no se tomarán en cuenta para la modelación a este tipo de vehículo.

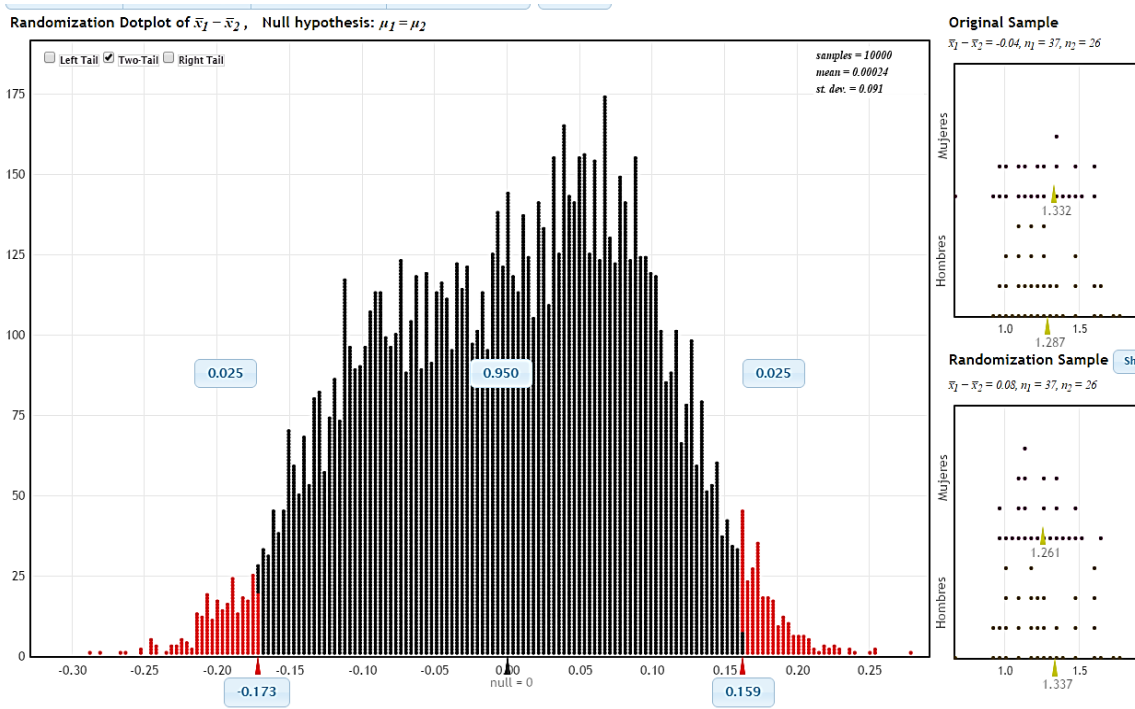


[Figura 51] Relación entre las velocidades de los peatones de sexo masculino y femenino en el sentido de la biblioteca de central hacia el complejo de innovación académica. Fuente: Propia



[Figura 52] Relación entre las velocidades de los peatones de sexo masculino y femenino en el sentido del complejo de innovación académica hacia la biblioteca central. *Fuente: Propia*

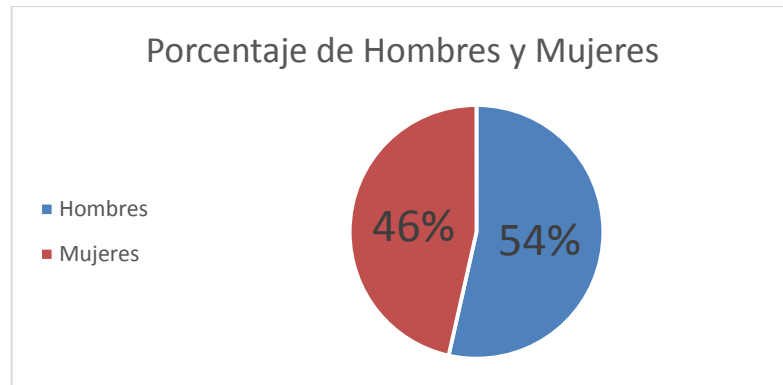
Por otra parte, en las figuras 51 y 52 se pueden apreciar los datos de velocidades peatonales divididos según el género y el sentido en el que se desplazan. Como es posible apreciar, hay una gran similitud entre las velocidades de ambos géneros; sin embargo, hay una ligera diferencia que se tomó en cuenta en el modelo de la simulación. La velocidad promedio de las mujeres es de 1m/s y la velocidad promedio de desplazamiento de los hombres es de 1.10 m/s, estas son aproximadamente iguales y se corrobora con la prueba de aleatorización con un intervalo de confianza de noventa y cinco por ciento (figura 53).



[Figura 53] Prueba de aleatorización para las velocidades peatonales individuales según género. Fuente:

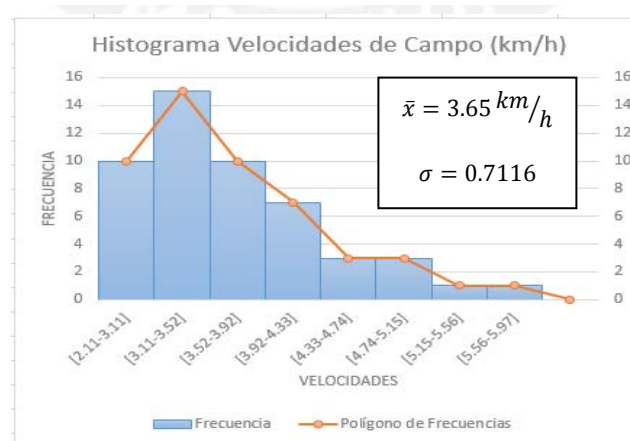
Propia

Por otro lado, en la figura 54 se tiene la proporción de la cantidad de peatones hombres y mujeres que se encontraban transitando por la vía el día del estudio. Como se aprecia las proporciones son muy cercanas al 50% por lo que se puede intuir que en el campus de la PUCP se tiene una proporción casi igualitaria de hombres y mujeres. Este dato es a su vez relevante en la modelación dado que de las figuras anteriores se llegó a la conclusión que habían velocidades distintas para ambos sexos, por lo que se volvió importante conocer en qué proporción de debe utilizar cada velocidad en el programa Viswalk.

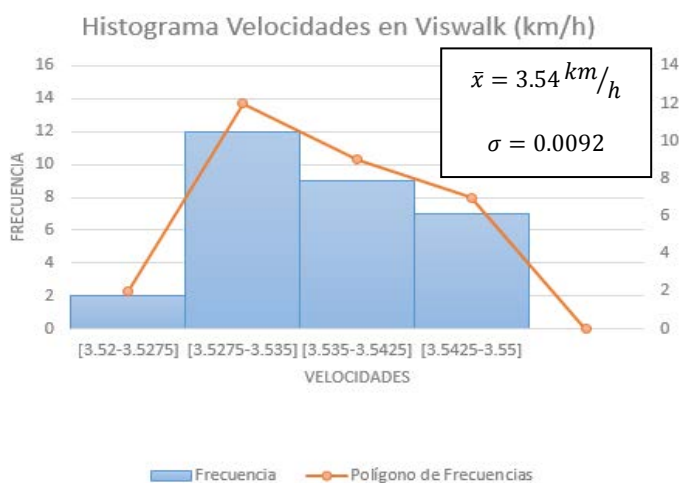


[Figura 54] Proporción de peatones de sexo masculino y femenino. Fuente: Propia

Finalmente, con los datos mencionados anteriormente se creó el modelo de microsimulación en Viswalk (el procedimiento de modelado se detalla en el capítulo 4). Luego de finalizar el modelo y ejecutar las simulaciones se obtuvo como principal dato de salida las velocidades promedio de los peatones en la simulación. Adicionalmente, se obtuvieron otros valores como el tiempo promedio de viaje y la densidad promedio en la vía (Anexo 5). Como se mencionó en el capítulo 4, se seleccionó aleatoriamente 50 velocidades obtenidas de campo para que junto a las 30 velocidades obtenidas del modelo se proceda a la calibración cuantitativa.



[Figura 55] Velocidades seleccionadas aleatoriamente de campo. Fuente: Propia



[Figura 56] Velocidades obtenidas de VISWALK. Fuente: Propia

Las figuras 55 y 56 muestran una comparación entre los datos de campo y los arrojados por VISWALK, se observó a simple vista una cercana similitud entre ambos (las velocidades seleccionadas de campo y las velocidades de la ejecución de las simulaciones en Viswalk se pueden observar en los anexos 6 y 7); sin embargo, es necesario realizar un estudio cuantitativo (calibración del modelo) como se detalla en el capítulo 4.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se pudo comprobar que el modelo de la fuerza social puede simular de manera eficiente el comportamiento peatonal en ambientes universitarios del Perú, específicamente el caso de la PUCP. Esto se comprueba a través de los resultados cuantitativos de la microsimulación tales como las velocidades promedio y el tiempo de recorrido; y además, se comprobó a través de los resultados cualitativos la similitud visual entre el comportamiento peatonal real y el del modelo. Así mismo, respecto a la capacidad de la vía la cual se supuso insuficiente para la demanda actual, se llegó a la conclusión que la vía está en óptimas condiciones de capacidad para situaciones como las planteadas en la simulación, donde se tienen actividades lejanas o cercanas a la vía pero de poca influencia sonora.

Los resultados obtenidos en la investigación son satisfactorios respecto a los objetivos planteados. Se analizó el comportamiento de los peatones dentro de la vía principal de la PUCP cuando esta se encontraba en su estado de aforo máximo: los jueves al mediodía. A través de la videograbación del dron se registró una velocidad promedio de 3.65 km/h, la cual fue comparada con los resultados obtenidos con el modelo en Viswalk para fuerza social que dio como valor una velocidad promedio de 3.52 km/h. Se hizo una calibración cuantitativa con el programa Statkey de los valores de las velocidades, tanto de campo como del modelo, que ubicó a los resultados dentro del intervalo de confianza; esto significa que el modelo realizado representa con suficiente eficacia a la

realidad. De esto se puede concluir que este programa (Viswalk) el cual ha sido creado en Alemania, puede ser usado para modelar comportamientos peatonales en ambientes universitarios en el Perú; esto es posible debido a que en él se pueden modificar muchos parámetros preestablecidos para comportamientos peatonales muy distintos a los que suceden en la vía principal de la PUCP.

Respecto a los aspectos del comportamiento peatonal; se pudo observar que los peatones tienden a formar grupos por afinidad lo cual no pudo ser representado en su totalidad dentro del modelo debido a que este está diseñado según los parámetros dados por Helbing y Molnar (1995) que postula que los peatones tienden a formar carriles para agilizar su desplazamiento lo cual es correcto y puede ser observado en la videograbación del dron pero adicionalmente se encontró que los grupos de estudiantes tendían a formar carriles cuando se desplazaban sin compañía de otro; en cambio, cuando se desplazaban conversando con otros no tendían a separarse para formar los carriles sino que todo lo contrario se convertían en una sola entidad que ocupaba un carril del ancho del grupo. Este fenómeno en el comportamiento era recurrente solo en el caso antes mencionado y creaba obstrucciones en la vía cada vez que se desplazaban en grupos por afinidad; en los demás casos cuando se desplazaban individualmente, que de hecho es más frecuente, este comportamiento no sucedía y se mantenía un desplazamiento fiel al modelo.

En algunas ocasiones los grupos por afinidad se quedaban sin moverse en la vía; en la mayoría de los casos estos detenían a conversar lo que creaba un

obstáculo adicional para los demás peatones que si estaban avanzando. Este comportamiento se quería representar a través de la disminución de la velocidad en ciertos tramos donde ocurría con mayor frecuencia, pero el modelo dejaría de ser similar a la realidad, por lo que este era más fiel a la realidad sin este cambio en él.

Los obstáculos que se observaron el día de la grabación del video con el dron fueron dos los cuales se mencionan a continuación: un puesto del CAPU (centro de asesoría pastoral universitaria el cual se observa en la parte más lejana de la grabación) que tenía por objetivo el reclutamiento de nuevos miembros a la organización y el segundo es una caseta de INFOPUC, el cual se puede observar en la parte más cercana e inferior de la videograbación, que es una organización que dicta cursos de informática dentro de la universidad la cual se encontraba dando informes. En ambos casos estos obstáculos causaban fuerzas de repulsión para la mayoría de los peatones pero en algunos casos generaban atracción y hacía que estos se acercaran a estos puntos lo que ocasionaba mayores obstrucciones en la vía. Al igual que los peatones que se quedaban conversando sin desplazamiento en la vía, se trató de representar las fuerzas de atracción del stand para algunos peatones. Luego de ver algunas opciones como el de disminuir la velocidad en ese tramo de la vía, se llegó a la conclusión que no era necesario hacer ese cambio ya que el modelo se asemejaba bastante a la realidad incluso sin esta modificación. Como se puede observar tanto en las fotos de la vía como del modelo en Viswalk se observa un

comportamiento similar en ambos casos respecto a las áreas cercanas a los obstáculos.

Respecto al análisis de las líneas de desplazamiento de los peatones, se observa, en la grabación del dron, la tendencia a esquivar el stand (obstáculo) describiendo una trayectoria curva muy marcada alrededor de este. Este fenómeno se puede observar con total similitud en el modelo hecho en Viswalk, por lo que se llegó a la conclusión que el modelo en Viswalk representan las líneas de desplazamiento de manera eficiente; adicionalmente, al modificar los parámetros se pudo lograr que los peatones mantengan las distancias entre ellos similares a las que se observan en la videograbación.

Respecto a las actividades realizadas en el campus en el perímetro de la vía peatonal, se pudo constatar que estas tienen una influencia en el comportamiento peatonal dentro de la vía el cual está relacionado con la distancia a la que se encuentre de la vía, lo visible que esta sea y la atracción sonora que esta tenga. En general, mientras más cerca esté la actividad al borde de la vía más influencia tendrá en el comportamiento peatonal, mientras más visible y llamativa esta sea su influencia será mayor, y finalmente mientras mayor volumen de sonido esta emita mayor será su influencia en el comportamiento peatonal. Las actividades que se realizan alejadas del borde como grupos de estudiantes tocando instrumentos musicales o un grupo de teatro tienen poca influencia en el desplazamiento peatonal debido a que al realizarse las mismas en el perímetro estas no generan obstrucciones pero si pueden influenciar a los peatones a cambiar su ruta inicial y a que estos se

detengan, salgan de la vía y se queden a observar alguna actividad. En el caso de las actividades que se realizan cerca al perímetro de la vía como por ejemplo carteles infográficos o el puesto de alguna organización, estos pueden generar una disminución en la velocidad de los peatones que se desplazan cerca al borde. Respecto a la identificación sonora, por ejemplo, una banda de música que se esté presentando en un jardín adyacente a la vía tiene una mayor influencia en el comportamiento peatonal de los estudiantes debido a que no se necesita un estímulo visual para ser atraído y se ha observado que en estos casos si puede generar una obstrucción importante en la vía por la mayor aglomeración de peatones que salen de la vía o que se detienen en ella a escuchar.

La vía tiene la capacidad necesaria para la demanda actual; sin embargo, en el caso de tenerse una actividad de alta influencia sonora como una banda de música, la cual se puede visualizar en la figura 42, la vía llega a sobrepasar su capacidad debido a que los peatones se detienen por mucho tiempo y obstruyen casi por completo la vía, lo que obliga a los demás a salirse de la misma y caminar fuera de esta; por lo que se sugiere que se pongan a disposición de la comunidad del campus lugares adecuados para realizar este tipos de eventos sin que influyan en el normal desplazamiento de la vía.

Asimismo, se evidenció que la sugerencia para el conteo de peatones dada por Gehl (2013) no es válida para el flujo peatonal en ambientes universitarios. Gehl sugiere que para obtener el flujo peatonal total de una hora es suficiente con tener el conteo de los primeros 10 minutos y luego multiplicarlo por seis. Si se

tomara en cuenta esta sugerencia, en el caso del primer sentido de desplazamiento se tendría un valor flujo peatonal por hora 30% mayor al flujo total real y en el caso del segundo sentido el aumento sería de un 50%.

Finalmente, es importante recalcar la importancia de este tipo de estudios (vida y espacio público), pues, nos proporciona información para el diseño o modificaciones que deban realizarse para garantizar un buen nivel de servicio de las vías peatonales.



BIBLIOGRAFÍA

Cabrera Vega, Félix I. Estudios de impacto vial versus estudios de movilidad generada. En XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Cajamarca: CIP, 2011.

Hashemnezhad, Hashem; Yazdanfar, Seyed Abbas; Heidari, Ali Akbar y Behdadfar, Nazgol. Comparison the concepts of sense of place and attachment to place in Architectural Studies. Malaysia Journal of Society and Space. Malasia, 2013

Gehl Architects. Public Spaces & Public Life. Perth: City of Perth, 2009

Herce Vallejo, Manuel. Sobre la movilidad en la ciudad. Reverté. España, 2009

Gehl, Jan y Svarre, Birgitte. How to study public life. Island Press, 2013

Jacobs, Jane. The Death and Life of Great American Cities. Random House, 1961

Whyte, William H. The Social Life of Small Urban Spaces. Project for Public Spaces, 1980

Alexander, Christopher. A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction. Oxford University Press, 1977

Alexander, Christopher. A Timeless Way of Building. Oxford University Press, 1979

Bosselmann, Peter et al. Sun, Wind and Comfort. A Study of Open Spaces and Sidewalks in Four Downtown Areas. Environmental Simulation Laboratory, Institute of Urban and Regional Development, College of Environmental Design, University of California, 1984

Appleyard, Donald. Livable Streets. University of California Press, 1981

Jacobs, Allan. Looking at Cities. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1985

Jacobs, Allan y Appleyard, Donald. Toward an Urban Design Manifesto en The Urban Design Reader. Nueva York: Routledge (2007), ed. Michael Larice and Elizabeth Macdonald, 2010

Australian Government et al. CREATING PLACES FOR PEOPLE an urban design protocol for Australian cities, 2011

National Endowment for the Arts; American Conservation Association; The Laura Jane Musser Fund; Surdna Foundation, Inc. y Jules Rand, Inc. STREETS AS PLACES using streets to rebuild communities, 2008

Amir Sohrab Sahaleh, Michel Bierlaire, Bilal Farooq, Antonin Danalet, Flurin Silvan and Hanseler. Scenario Analysis of Pedestrian Flow in Public Spaces. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2012

S.P.Hoogendoorn, P.H.L.Bovy, and W.Daamen. Microscopic pedestrian wayfinding and dynamics modeling. In Michael Schreckenberg and Some Deo Sharma, editors, Pedestrian and Evacuation Dynamics. Springer, 2001

Le Roy F. Henderson. On the fluid mechanics of human crowd motion. Transportation Research, 1974

Dirk Helbing. A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians. Complex Systems, 1992

Victor J. Blue and Jeffrey L. Adler. Cellular automata microsimulation for modeling bidirectional pedestrian walkways. Transportation Research, 2001

Bak, P. How Nature Works: The Science Of Self-Organized Criticality. Springer, New York, 1996

Wolfram, S. Cellular Automata and Complexity. Addison-Wesley, Reading, MA , 1994

Winnie Daamen. Modeling Passenger Flows in Public Transport Facilities. PhD thesis, Delf University of Technology, 2004

Thomas Robin. New Challenges in Disaggregate Behavioral Modeling: Emotions, Investments and Mobility. PhD Thesis, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2001

Dirk Helbing and Péter Molnár. Social force model for pedestrian dynamics. Physical review, 1995