

# APLICACIÓN DE MÉTODOS DE PONDERACIÓN PARA EL ESTUDIO DE LA MOVILIDAD DE LA SEDE CENTRAL DEL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES

Elaborado por:

Ing. Auri Estela Pizarro Moraga, Escuela Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica  
Correo electrónico: [estela938@hotmail.com](mailto:estela938@hotmail.com)

Ing. Henry Hernández Vega, M.Sc., P.Eng., Programa Infraestructura del Transporte, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, PITRA – LanammeUCR  
Correo electrónico: [henry.hernandezvega@ucr.ac.cr](mailto:henry.hernandezvega@ucr.ac.cr)

Ing. Diana Jiménez Romero, MBA, M.Sc., Programa Infraestructura del Transporte, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, PITRA – LanammeUCR  
Correo electrónico: [diana.jimenez@ucr.ac.cr](mailto:diana.jimenez@ucr.ac.cr)

## Resumen:

Se aplicó una metodología para realizar análisis de movilidad en centros de trabajo institucionales, utilizando un cuestionario electrónico enviado a través del correo electrónico institucional a funcionarios del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Mopt). Específicamente, se analizaron los patrones de movilidad de los funcionarios de la sede central del ministerio. Al comparar las respuestas recibidas, con las características de los funcionarios, se determinó que las personas jóvenes y las mujeres estaban sobrerrepresentadas en las respuestas recibidas. Por tanto, se determinó necesario ajustar los resultados iniciales con dos métodos de ponderación. Prácticamente la mitad de los viajes a este centro de trabajo se realizan en automóvil, un 40% utiliza el transporte público colectivo y menos del 4% de los viajes están asociados con medios no motorizados.

**PALABRAS CLAVES:** MOVILIDAD, TRANSPORTE, CENTROS DE TRABAJO, ENCUESTA ELECTRÓNICA, SESGO, PONDERACIÓN.

## Introducción

La Gran Área Metropolitana (GAM) representa el 3,83 % del territorio nacional, incluye las zonas más pobladas de las provincias de Alajuela, Cartago, Heredia y San José y alberga 2,3 millones de personas, que representan aproximadamente la mitad de la población del país. En esta área se concentra la mayor parte de la

actividad económica de Costa Rica pero, de igual manera, los mayores problemas de congestión vehicular. (Machado, 2015)

En el 2005, los viajes en autobús representaban el 63 % de los viajes motorizados (L.C.R Logística S.A., 2007). Históricamente, el porcentaje de usuarios de transporte público ha ido disminuyendo en el país debido a la falta de implementación de políticas que permitan al servicio de transporte público presentar patrones eficientes para competir con el vehículo privado.

La organización del sistema de transporte actual no prioriza a modos de transporte sostenible respecto al vehículo privado, lo que se traduce en pérdidas para la sociedad en términos de calidad de vida, contaminación del medio ambiente y pérdida de competitividad.

Así bien, día a día, la congestión vehicular, además de afectar la calidad de vida de las personas ocasiona un alto impacto en la economía. Al año se pierden aproximadamente \$ 800 millones producto de la congestión vehicular. (Loría et al., 2014)

Conforme a lo expuesto por Machado (2015), en la GAM el 60 % de los viajes realizados entre las 5:30 am y 9:00 am se dan por motivos de trabajo. Actualmente, la accesibilidad al trabajo responde a un modelo basado principalmente en el uso de vehículo privado; esta parte de la movilidad urbana contribuye a los problemas generados por los desplazamientos, la congestión aumenta los consumos energéticos, la contaminación y pérdidas económicas manifestadas en falta de puntualidad y absentismo laboral.

De acuerdo con Alcántara de Vasconcellos (2010), los desplazamientos en el trabajo afectan la cantidad de tiempo para las relaciones sociales, se generan accidentes de tráfico que generan pérdidas de horas; además existe un mayor coste en tiempos de traslado. Adicionalmente, las empresas tienen que asumir el costo del espacio dedicado al parqueo de los empleados; asimismo, los desplazamientos al trabajo causan estrés, fatiga y cansancio. En consecuencia, estos provocan, un menor rendimiento en el puesto de trabajo y mayor tendencia a la irritabilidad. Por

otro lado, el uso de espacio urbano dedicado al parqueo igualmente afecta el paisaje urbano.

Por tanto, es imprescindible el considerar estas implicaciones cuando se desean realizar mejoras a la movilidad de las personas a sus trabajos, o cuando se establecen proyectos nuevos, como es el caso de la Ciudad Gobierno, la cual cuenta con una declaratoria de interés nacional. (Mora, 2016)

Ciudad Gobierno consiste en la construcción de un complejo que incluye seis edificios de oficinas y espacio para cinco mil vehículos y albergará a cinco ministerios y seis instituciones. (Hernández, 2016)

Dentro de las ventajas mencionadas a partir de este proyecto, se incluye el establecimiento de vías y medios de transporte, que concederán mayor dinamismo y eficiencia al sistema actual, con ahorros de combustible y tiempo importante. La ubicación del proyecto coincide con el interés de mejorar el ambiente urbano en esa zona de la ciudad de San José (La Gaceta, 2016). La primera etapa del proyecto corresponde a la construcción del edificio del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Mopt).

Dicho proyecto podría generar menores niveles de congestión, promovería el uso del tren y mejoraría el entorno urbano, ya que utilizaría de forma adecuada el espacio disponible de modo que se puedan generar edificios verdes, funcionales y que promuevan tanto el embellecimiento como la integración de los ciudadanos en espacios públicos seguros. (Fallas, 2015)

Ante los crecientes problemas relacionados con la congestión vehicular en la GAM, es necesario buscar y proponer formas alternativas de transporte de acuerdo con los patrones de movilidad de las personas. Por lo anterior, se decide llevar a cabo esta investigación específicamente con el objetivo de brindar insumos para futuras recomendaciones que permitan mejorar la forma en que se movilizan las personas a los centros de trabajo en la GAM.

Se decide utilizar como caso de estudio el análisis de los patrones de movilidad del plantel central del Mopt ubicado en las inmediaciones de Plaza González Víquez,

lugar que, con la ejecución del proyecto Ciudad Gobierno, se convertirá en un foco urbano para la movilización de personas. Se espera que la realización de este proyecto sirva de iniciativa a otros centros de trabajo institucionales, sobre la importancia de conocer la forma en que se desplazan las personas al trabajo.

La toma de decisiones con incidencia en la movilidad puede ser enriquecida con el conocimiento de los patrones de viajes de las personas. Con la elaboración de encuestas es posible caracterizar los viajes y así lograr un mejor entendimiento de los patrones de movilidad y necesidades de los usuarios. (Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero y Loría-Salazar, 2014)

Los centros de trabajo, tanto públicos como privados, son sitios idóneos para analizar, evaluar y optimizar la movilidad urbana, debido a que la mayoría de los trabajadores tienen varios aspectos en común, por ejemplo, horarios similares y además la oferta de transporte puede ser amplia y común para todos. La implementación de medidas de movilidad sostenible en las empresas es una manera de reducir la congestión vehicular y los niveles de contaminación del aire.

Por las razones mencionadas anteriormente, es necesario entender los patrones de movilidad de los trabajadores para que se puedan implementar medidas adecuadas a sus necesidades, que al mismo tiempo disminuyan la congestión vehicular y tiempos de viajes, a la vez que contribuyan en la mejora de la calidad de vida de las personas y les permita un desarrollo laboral óptimo.

El objetivo del estudio es elaborar una metodología para realizar análisis de movilidad en centros de trabajo institucionales; se utiliza la sede central del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Mopt) como caso de aplicación para procurar mejoras en la movilidad hacia el centro de trabajo.

El estudio se realizó con todos los funcionarios del plantel que poseían una cuenta de correo electrónico institucional, por este medio se envió el enlace de acceso a un cuestionario, el cual se describe más adelante. De los 3 294 funcionarios activos del Mopt distribuidos por todo el territorio nacional, 1 800 cuentan con correo electrónico institucional y de esa cantidad, 1 521 personas laboran en la sede

central. El plantel central se subdivide en cinco edificios (dichas edificaciones se encuentran una a la par de la otra):

- Oficinas centrales
- Taller central
- Consultorio y bodegas/Archivo central
- Policía de Tránsito
- Laboratorio (Subdivisión de geotecnia y materiales)

El marco temporal del estudio corresponde al año 2017, específicamente los meses de mayo, junio y julio, en los cuales se recopiló la información. El marco espacial corresponde a la sede central del Mopt; la cual se encuentra ubicada en la ciudad de San José entre Avenidas 20 y 22 y Calles 7 y 11, Plaza González Víquez (ver Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de la sede central del Mopt

Nota: adaptado de *Google Maps*, 2016

Los participantes respondieron al formulario enviado de forma voluntaria, por lo que el estudio presenta un sesgo de participación. Además, puede que no todas las personas revisaran periódicamente el correo electrónico.

Para diferenciar a los funcionarios de la sede central, dentro del cuestionario se incluyó una pregunta en donde se especifica la sede en la cual se labora.

A partir de la base datos de funcionarios activos suministrada, se determinó cuantos funcionarios hay en la sede central, sin embargo, no se pudo conocer de forma exacta la cantidad de funcionarios de la sede Plaza González Víquez que cuentan con correo electrónico institucional.

### **1.1. Antecedentes teóricos y prácticos del problema**

El tema de la gestión de la demanda del transporte es relativamente novedoso y procura reducir los niveles de congestión a través de medidas que afectan tanto la cantidad de viajes en ciertas horas del día, así como el medio de transporte utilizado (Ríos-Flores, Vicentini y Acevedo-Daunas, 2013). Además, es preferible el reordenar ciertos viajes en vez de suprimirlos. La eliminación de ciertos viajes podría generar pérdidas sociales o personales. (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos, 2005)

Por ejemplo, se podrían reducir los niveles de congestión si se logra motivar a trabajadores a utilizar el transporte público, con escalonamiento en los horarios o con la implementación de programas de teletrabajo. Con el desarrollo de la GAM y el aumento de la congestión vehicular, en los últimos años ciertas empresas, especialmente transnacionales, han implementado medidas de movilidad como por ejemplo buses empresariales subsidiados, la modalidad de teletrabajo y horarios flexibles.

En el tema de gestión de movilidad en centros de trabajo, Machado (2015) recopila las medidas adoptadas por 10 centros de trabajo tanto institucionales como privados, que en conjunto tenían más de 3 500 personas empleadas. Mediante la aplicación de una encuesta de movilidad se determinaron los patrones de movilidad de los trabajadores de cada empresa. Además, se utilizó la herramienta "*Company Mobility Footprint*" para evaluar el progreso de las medidas en el futuro permitiendo cuantificar el impacto relativo que tienen en la congestión local los desplazamientos en vehículo privado de una empresa, y el esfuerzo de la empresa por reducir los viajes en vehículos privados.

Dentro de los resultados del proyecto, se pueden mencionar (Machado, 2015):

- Las instituciones gubernamentales son las que menos medidas han implementado.
- Un horario flexible es la medida más utilizada.
- La modalidad de carro compartido es la medida menos utilizada.
- Ninguna empresa ofrece control de los espacios de parqueo.

Recientemente, en el país se publicó una guía para “la planificación e implementación de estrategias que promuevan la movilidad sostenible a nivel empresarial, con enfoque en cambio climático y género” (Sauma, Rojas, San Gil, Moya, 2018, p.1).

Adicionalmente, se han realizado diferentes estudios de movilidad, tanto en la Universidad de Costa Rica como en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero y Loría-Salazar, 2014, O’neal, 2016 y Moya-Mora, 2017) con el fin de caracterizar los viajes, de generar insumos para los procesos de toma de decisión relacionados con la movilidad y con el fin de identificar variaciones en los patrones de movilidad a lo largo del tiempo.

De acuerdo con lo expuesto por Ortúzar y Willumsen (2008), la demanda de transportes se puede basar en información acerca de elecciones y decisiones observadas, es decir, datos de preferencias reveladas. Las encuestas en centros de atracción de viajes como centros educativos, hospitales, zonas industriales, entre otros, permiten caracterizar los viajes hacia esos lugares, con el objetivo de adecuar las políticas más adecuadas para promover una movilidad más sostenible. (Federación Española de Municipios y Provincias, 2005)

Las encuestas vía web pueden definirse como instrumentos que residen en un servidor de red (Machado, 2015). Según lo expuesto por Shih y Fan (2008), las encuestas electrónicas brindan enlaces en los correos electrónicos que dirigen a los respondientes a un portal de internet para rellenar el cuestionario. A pesar de la creciente popularidad, existe preocupación con respecto a la tasa de respuestas de las encuestas electrónicas, en parte, debido al desigual acceso de algunas poblaciones de diferentes estratos sociales a la tecnología web.

La mayoría de experimentos de encuestas electrónicas toman como objeto poblaciones con un nivel de acceso más alto a internet, mientras que las encuestas por correo usualmente cubren poblaciones más diversas. Además, diferentes poblaciones pueden reaccionar de diferente forma ante las encuestas web, dependiendo de la exposición y confort que tengan con la tecnología (Shih & Fan, 2008). En el siguiente cuadro, se muestran algunas ventajas y desventajas de la utilización de las encuestas electrónicas:

**Cuadro 1.** Ventajas y desventajas de las encuestas electrónicas

Ventajas	Desventajas
Es posible una entrega rápida y fácil devolución	Problemas de seguridad potencialmente amenazan la validez o disminuyen la tasa de retorno
Facilidad de llegar a un gran número de personas	Problemas tecnológicos potenciales disminuyen la tasa de retorno
Comprobación de la calidad de los datos	Ausencia del entrevistador
Facilidad para garantizar la confiabilidad	Riesgo de acceso limitado dentro de la población
Posibilidad de obtener los datos directamente de la base de datos	Personas que contestan más de una vez
	Falta de control sobre la muestra
	Riesgo de un muestreo sesgado

Fuente: Machado (2015)

Las encuestas de autollenado, en las que los consultados completan un formulario sin necesidad de asistencia por parte de un entrevistador, son de las más comunes en estudios de transporte (Federación Española de Municipios y Provincias, 2005). En el siguiente cuadro, se presentan las principales ventajas y desventajas de este tipo de encuestas.

**Cuadro 2.** Ventajas y desventajas de las encuestas de autollenado

Ventajas	Desventajas
Menores costes que la entrevista personal	Menores tasas de respuesta
Mayor cobertura geográfica	No se pueden obtener respuestas espontáneas
Se pueden obtener respuestas más completas y mejor pensadas	Se requieren diseños de encuestas sofisticados
Se elimina el sesgo en las respuestas	No se pueden clarificar posibles respuestas ambiguas

Fuente: Federación Española de Municipios y Provincias (2005)

Díaz de Rada (2004), refiere que el error de cobertura se produce cuando elementos de la población no son incluidos dentro de la muestra pudiendo generar una subestimación o sobreestimación en las estimaciones obtenidas.

Además, Monge y Juan (2002) exteriorizan que, mediante las pruebas de bondad de ajuste, es “posible determinar si los datos de cierta muestra corresponden a cierta distribución poblacional”.

Por el otro lado, Díaz de Rada (2004) también menciona el error producido por la ausencia de respuesta, ya sea porque una persona decide no contestar a una, a varias, o a todas las preguntas del formulario.

## **1.2. Ponderación**

La aplicación de procesos de ponderación que requieren el conocimiento de ciertas características de la población podrían permitir la mitigación de errores producidos, por ejemplo, por la no respuesta (Díaz de Rada, 2004). Madden, Lenhart, Duggan, Cortesi y Gasser (2013), señalan que la ponderación es usada generalmente en el análisis de encuestas como una forma de compensar los patrones de no respuesta y la desproporcionalidad del diseño de la muestra que podría sesgar las estimaciones de la encuesta. El uso de la ponderación asegura que las características demográficas de la muestra se aproximan de manera cercana a las características de la población. De acuerdo con Särndal (2011), el sesgo no se puede eliminar del todo y algún sesgo aún permanece después de los ajustes.

Díaz de Rada (2001), indica que, en el caso de las encuestas telefónicas, una vez conocidas las variables que afectan el hecho de contar con un teléfono, se asigna una ponderación mayor a los grupos con menor representación, para conseguir una mejora de las estimaciones.

Comari (2010), indica que los datos obtenidos en las encuestas, se pueden ajustar utilizando variables conocidas de la población y de las cuales, se encuentran disponibles. Dentro de los objetivos de la calibración, se mencionan la disminución de la varianza, la reducción de sesgos, mejorar estudios longitudinales, y permitir la coherencia entre los resultados de diferentes encuestas.

Mompart, Medina, Brugulat & Tresserras (2007) realizaron ponderaciones por edad, sexo y región sanitaria, para una encuesta de salud en Cataluña. Spijker, Pérez y Cámara (2008) utilizaron un sistema de ponderación que estandarizara los datos de

las diferentes ediciones de la encuesta; así bien, para la ponderación se siguió un criterio de proporcionalidad entre los subgrupos de sexo, edad y comunidad autónoma de residencia. Por otro lado, a cada subgrupo se le aplicó un factor para que la población muestral representara a la población real existente en los distintos años.

Sobre los métodos para la determinación de factores de ponderación, Kalton y Flores-Cervantes (2003) exponen y comparan seis métodos (los dos primeros fueron los aplicados en este estudio), los cuales son:

1. Ponderación por celda (*Cell weighting*)
2. Estimador de Rastrillo (*Raking*)
3. Ponderación lineal (*Linear weighting*)
4. Ponderación GREG (*General Regression Estimation (GREG) weighting*)
5. Ponderación con regresión logística (*Logistic regression weighting*)
6. Combinación de ponderación por celda y otro método (*Mixture of cell weighting and another method*)

El método de ponderación por celda consiste en ajustar los pesos de la muestra celda por celda, al multiplicarlas por la probabilidad inversa, de modo que los totales de la muestra se ajusten a los totales de la población. Una potencial desventaja de este método es que puede generar una gran variabilidad en la distribución de los ajustes de ponderación, inflando así, las varianzas de las estimaciones de la encuesta. (Kalton & Flores, 2003)

El método de “*raking*”, también conocido como “*Raking Ratio*”, consiste en un ajuste iterativo de los factores de expansión de una muestra según dos variables categóricas, cuyos totales en cada categoría se conocen. (Comari, 2010)

La aplicación del método consiste primeramente, en ajustar los totales de la fila en la muestra a la totalidad de la fila de la población, luego se hace el mismo ajuste con los totales de las columnas; posteriormente se vuelven a reajustar las filas y las columnas, se siguen haciendo los ajustes hasta que se alcance la convergencia; es

decir, hasta que los totales de las filas y columnas concuerden con los totales de la población. (Kalton & Flores, 2003)

Por ejemplo, Dal Grande (2015) utilizando el método “raking” de ponderación aplicado a las estimaciones de salud en el sistema australiano de vigilancia de salud, realizó un ajuste por ponderación de acuerdo con grupos de edad, sexo y área de residencia; además, el peso ajustado incluyó: estado de la vivienda, cantidad de personas en el hogar, país de nacimiento, estado civil nivel educativo y nivel de desempleo más elevado. Similarmente, Browne, Ayala, Vega y Marchant (2016) utilizaron datos poblacionales de sexo, edad, región y nivel educacional para aplicar el método “raking”.

## **1. Metodología**

Para la recolección de datos, el formulario se distribuyó de forma electrónica. Se utilizó este formato considerando los aspectos prácticos y el bajo costo. Para el diseño del cuestionario, se utilizaron como referencia las aplicadas por LanammeUCR en la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica (UCR) en los años 2013 y 2015, cuyo propósito consistía en caracterizar los viajes de las personas usuarias de las instalaciones de la UCR.

Para esta investigación, el cuestionario se organizó en ocho secciones, las cuales son:

- A. Información demográfica
- B. Preguntas de movilidad
- C. Preguntas de movilidad en bicicleta
- D. Preguntas de movilidad en autobús ruta de transporte especial
- E. Preguntas de movilidad en autobús ruta de transporte público
- F. Preguntas de movilidad en automóvil
- G. Peatones
- H. Teletrabajo

A pesar de que la encuesta cuenta con ocho secciones de preguntas, los encuestados no tenían que responder todos los grupos de preguntas. Las secciones

de información demográfica, movilidad y teletrabajo, eran obligatorias para todos los respondientes. Las preguntas asociadas a un modo de transporte específico eran contestadas solo si la persona seleccionaba alguno de esos, como el medio de transporte más utilizado para movilizarse diariamente.

El Departamento de Gestión de la Información y del Conocimiento de la Secretaría de Planificación Sectorial del Mopt colaboró con el envío del enlace de acceso al cuestionario a través del correo electrónico institucional de los funcionarios.

El envío se realizó en mayo del 2017, adicionalmente se enviaron dos recordatorios durante julio del mismo año. La siguiente figura muestra el portal utilizado para la encuesta.



**Figura 2.** Portal de internet utilizado para iniciar la encuesta de movilidad del Mopt  
Nota: Enlace enviado inicialmente en mayo del 2017

## 2.1 Validación de los datos recolectados

La Dirección de Gestión Institucional de Recursos Humanos brindó una base de datos de los funcionarios activos del ministerio, que incluye años de servicio, edad, sexo, dependencia en la que labora, lugar de trabajo y lugar de residencia.

La base de datos a la cual se tuvo acceso incluía a los 3 294 funcionarios activos del ministerio al mes de abril, por lo que fue necesario aplicar una serie de filtros para obtener únicamente los que laboran en el sector Plaza González Viquez.

Luego de la recolección de datos, tanto de la encuesta electrónica como la encuesta física se procedió a comparar ambos resultados y del mismo modo, comparar los resultados de la encuesta electrónica con la base de datos del Mopt, a través de pruebas “chi-cuadrado”.

## 2. Resultados

Se realizó un ajuste por sesgo de participación en las categorías de sexo y edad, debido a que a partir de las pruebas “chi-cuadrado”, se determinó que el resultado de la encuesta electrónica, en esas dos categorías, no representaba a la población del ministerio, probablemente debido a que no todos los usuarios poseen acceso a un correo electrónico institucional o debido a que exista un sesgo de participación. Como se observa en el Cuadro 3, las proporciones entre la encuesta electrónica y la base de datos difieren en gran medida.

**Cuadro 3.** Comparación por sexo y edad de la población participante en el estudio y la base de datos de personas funcionarias del ministerio

Variable	Participación en la Encuesta electrónica	Base de datos del Mopt
Femenino	50 %	27 %
Masculino	50 %	73 %
Menor a 45 años	61 %	39 %
Mayor a 45 años	39 %	61 %

Nota: de acuerdo con la información recopilada en la investigación

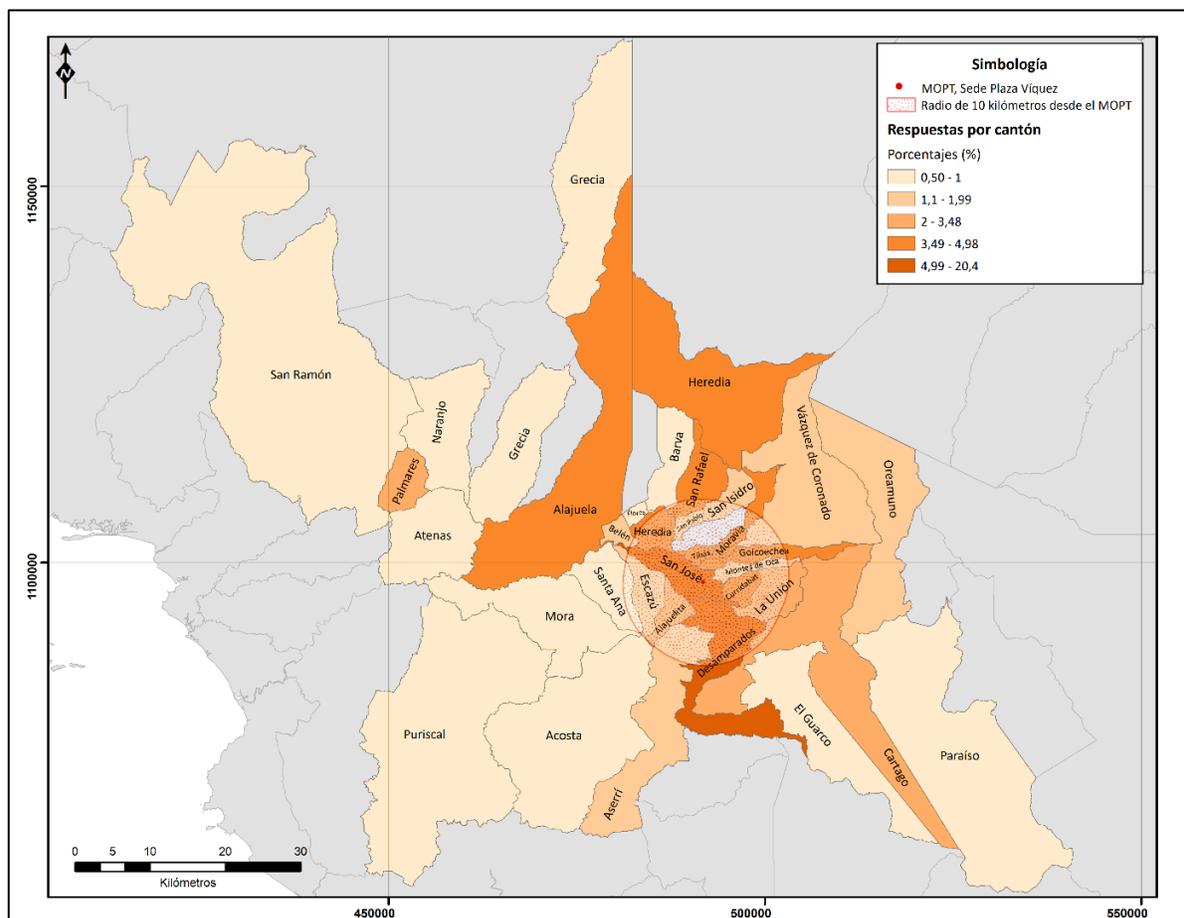
Para realizar los ajustes, se eligieron dos métodos de ponderación, el de “*raking*” y el de ponderación por celda. El ajuste de los resultados consiste en hacer que el peso por sexo y edad de la encuesta electrónica coincida con el presente en la base de datos del Mopt, para posteriormente, y en las categorías seleccionadas, obtener porcentajes ponderados por sexo y edad.

Un total de 454 personas ingresaron al portal de la encuesta electrónica. Del total de ingresos, 232 completaron todos los grupos de preguntas. De los datos recolectados, 202 respuestas corresponden a funcionarios de la sede central del

Mopt ubicada en Plaza González Víquez. Los valores y resultados presentados en adelante, corresponden únicamente a las respuestas de los funcionarios que laboran en dicha sede y completaron la totalidad del cuestionario.

La dependencia en donde se obtuvo un mayor índice de respuestas fue la Secretaría de Planificación Sectorial con un 12 %, seguida de Asesoría Jurídica e Informática con un 9 % cada una.

Además, en el mapa de la Figura 3, se muestra la distribución porcentual de la población por cantón, donde el punto rojo representa la ubicación del Mopt en Plaza Víquez y a partir de ahí, se dibujó un círculo en un radio de 10 km.



**Figura 3.** Distribución porcentual de la población por cantón  
Nota: Elaborada de acuerdo con la información recopilada en la investigación

### 3.1 Evaluación de respuestas

Como se mencionó anteriormente, la proporción de hombres respecto a mujeres difiere entre los datos de la encuesta y la base de datos del ministerio.

Para la prueba de bondad de ajuste con la categoría de sexo, de la encuesta electrónica se obtuvieron las frecuencias observadas (ver Cuadro 4), mientras que las frecuencias esperadas se determinaron multiplicando el total de encuestas completas por la probabilidad de ocurrencia asociada, que corresponde a la proporción de hombres y mujeres presente en la base de datos.

**Cuadro 4.** Prueba de la categoría sexo de encuesta electrónica contra la base de datos del Mopt

Clase	F <sub>observada</sub>	P(x)	F <sub>esperada</sub>	$\chi^2$
Femenino	100	0,269	54,32	38,42
Masculino	102	0,731	147,68	14,13
Total	202			52,55

Nota: Elaborado de acuerdo con la información recopilada en la investigación

De acuerdo con el **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, existen diferencias entre las frecuencias observadas y las esperadas, en las categorías de sexo, edad, años de trabajar en el Mopt y dependencia, debido a que el valor del estadístico  $\chi^2$  es mayor al valor crítico. Por el otro lado, no se encontró diferencia respecto a las distribuciones por provincia y cantón de la muestra respecto a la distribución que sigue la población.

**Cuadro 5.** Resumen de pruebas de la encuesta electrónica contra la base de datos del Mopt

Categoría	$\chi^2$	$\chi^2_{\text{crítico}}$	P( $\chi^2$ )	¿Sesgo?
Provincia	1,83	7,81	0,608	No
Cantón	19,58	22,36	0,106	No
Años de trabajar en el Mopt	19,14	12,59	0,004	Sí
Dependencia	83,90	21,00	7,41E-13	Sí
Edad	60,59	7,81	4,40E-13	Sí
Sexo	52,55	3,84	4,20E-13	Sí

Nota: Elaborado de acuerdo con la información recopilada en la investigación

En el caso de la edad, de acuerdo con la encuesta, el 63 % de respuestas fueron de personas menores a 45 años; por el contrario, en la base de datos un 39 % de los funcionarios se ve representado en ese rango de edad.

Respecto a la proporción de personas por dependencia del Mopt que contestaron la encuesta electrónica, la prueba con las frecuencias observadas y esperadas se dividió en las que se obtuvieron más de cinco respuestas, el resto se agruparon en la categoría “otras”. En este caso, se obtuvo “chi-cuadrado” de 83,90 que se comparó con un valor crítico de 21, por lo que los valores observados no representan la distribución de la población.

A pesar del resultado anterior, se destaca que de acuerdo con la literatura se puede aproximar a una distribución “chi-cuadrado” cuando la frecuencia esperada sea igual o mayor a cinco; en este caso, las frecuencias esperadas para la Dirección de Informática y la Dirección de Edificaciones Nacionales son menores. Esto resulta relevante, debido a que el estadístico de prueba asociado a Informática es el mayor, razón por la que se decidió no ajustar por dependencia del ministerio en la que se labora. Es recomendable aplicar, en estudios posteriores, pruebas estadísticas adicionales para este caso.

### 3.2 Ajuste de resultados

Luego de comparar los resultados de la encuesta electrónica con la información de la base de datos, y a partir de las pruebas de bondad de ajuste aplicadas, se determinó que en términos de sexo y edad las proporciones obtenidas con la encuesta electrónica no representaban adecuadamente la población real.

Se utilizaron los métodos de ponderación por celda y el “*raking*”, los cuales se aplicaron considerando los respectivos porcentajes de mujeres y hombres, menores y mayores de 45 años, con los resultados de la encuesta y la base de datos.

**Cuadro 6.** Proporciones por sexo y edad de acuerdo con diferentes fuentes de información

Fuente de información	Sexo	Menor a 45	Mayor a 45
Encuesta electrónica	Femenino	0,307	0,188
	Masculino	0,307	0,198
Recursos Humanos, Mopt	Femenino	0,126	0,143
	Masculino	0,268	0,464

Nota: Elaborado con base en la información recopilada en la investigación

Los factores de ponderación obtenidos con los respectivos métodos se muestran a continuación.

**Cuadro 7.** Factores de ponderación con el método de ponderación por celda

Edad/Sexo	< 45 años	> 45 años	Total
Femenino	0,126	0,143	0,269
Masculino	0,268	0,464	0,732
Total	0,394	0,607	1,000

Nota: Elaborado con base en la información recopilada en la investigación

**Cuadro 8.** Factores de ponderación con el método de *Raking*

Edad/Sexo	< 45 años	> 45 años	Total
Femenino	0,108	0,161	0,269
Masculino	0,286	0,446	0,732
Total	0,394	0,607	1,000

Nota: Elaborado con base en la información recopilada en la investigación

Luego de contar con los factores de ponderación, se determinó en qué categorías se haría el ajuste por sexo y edad; luego de analizar las preguntas de la encuesta, se eligieron las siete variables más importantes para caracterizar los patrones de movilidad de los respondientes. Las variables elegidas fueron modo de transporte, ingresos, educación, tipo de puesto, dependencia, tiempos de viaje, distancia del hogar al centro de trabajo.

Con cada una de las categorías, se siguió el procedimiento descrito a continuación. Se desagregan los resultados de cada categoría por sexo y por edad, además, se calcularon los respectivos porcentajes (ver Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Porcentajes de modo de transporte por sexo y por edad

Medio de transporte	Mujeres		Hombres	
	< 45 años	> 45 años	< 45 años	>45 años
Carro (conductor)	32,3 %	23,7 %	54,8 %	37,5 %
Autobús ruta regular	35,5 %	31,6 %	25,8 %	42,5 %
Carro (pasajero)	16,1 %	23,7 %	3,2 %	7,5 %
Autobús o microbús	6,5 %	7,9 %	3,2 %	2,5 %
Motocicleta (conductor)	1,6 %	0,0 %	6,5 %	5,0 %
Caminando	1,6 %	7,9 %	1,6 %	2,5 %
Motocicleta (pasajero)	1,6 %	5,3 %	0,0 %	0,0 %
Tren	1,6 %	0,0 %	3,2 %	0,0 %
Taxi	1,6 %	0,0 %	0,0 %	2,5 %
Bicicleta	0,0 %	0,0 %	1,6 %	0,0 %
Otro	1,6 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Nota: Elaborado de acuerdo con la información recopilada en la investigación

Posteriormente, se ponderan las respuestas por sexo y edad para cada medio de transporte con los dos métodos de ajuste utilizados.

Para estimar la varianza muestral, utilizada para obtener los intervalos de confianza, se calcularon las varianzas para cada subgrupo y luego se multiplicaron por el cuadrado de la ponderación y finalmente se sumaron. (Kish, 1979)

A continuación, se muestran los resultados al aplicar los ajustes para modo de transporte, tiempo de viaje y distancia del centro de trabajo respecto al hogar.

El ajuste realizado por modo de transporte se presenta en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En el caso del autobús, la proporción pasó de un 33 % a un 35 %, los conductores de carro tuvieron un aumento del 1 %, mientras que los pasajeros en automóvil disminuyeron del 11,9 % al 9,8 %. Sin embargo, las diferencias no son significativas dado que existe un traslape en los intervalos de confianza obtenidos en todos los casos.

**Cuadro 10.** Porcentajes por modo de transporte según método de ponderación

Modo de Transporte	Proporción sin ponderar	Ponderado por celda	Método Raking
Carro (conductor)	38,6 (31,9 - 45,3)	39,5 (31,4 - 47,6)	39,7 (31,7 - 47,6)
Autobús ruta regular	33,2 (26,7 - 39,7)	35,6 (27,5 - 43,7)	35,2 (27,2 - 43,2)
Carro (pasajero)	11,9 (7,4 - 16,3)	9,8 (5,2 - 14,3)	9,8 (5,3 - 14,3)
Autobús o microbús	5,0 (2,0 - 7,9)	4,0 (1,0 - 6,9)	4,0 (1,1 - 6,9)
Motocicleta (conductor)	3,5 (0,9 - 6,0)	4,2 (0,7 - 7,8)	4,2 (0,7 - 7,7)
Caminando	3,0 (0,6 - 5,3)	2,9 (0,2 - 5,6)	3,0 (0,3 - 5,7)
Motocicleta (pasajero)	1,5 (0 - 3,2)	1,0 (0 - 2,0)	1,0 (0 - 2,2)
Tren	1,5 (0 - 3,2)	1,1 (0 - 2,3)	1,1 (0 - 2,4)
Taxi	1,0 (0 - 2,4)	1,4 (0 - 3,6)	1,3 (0 - 3,5)
Bicicleta	0,5 (0 - 1,5)	0,4 (0 - 1,3)	0,5 (0 - 1,4)
Otro	0,5 (0 - 1,5)	0,2 (0 - 0,6)	0,2 (0 - 0,5)

Nota: Valores en paréntesis corresponden al intervalo de confianza al 95 %.

El Cuadro 11, muestra los resultados al ajuste en los tiempos de viaje de ida al centro de trabajo y el mayor cambio se presenta en la proporción de personas que duran entre 15 y 30 minutos para llegar al trabajo, donde se dio un aumento mayor del 3 %. Otros cambios considerables son el porcentaje de personas que duran 15 minutos; de igual modo, se observó una disminución de un 2,5 % en las personas que tardan entre 30 y 45 minutos.

**Cuadro 11.** Porcentajes por tiempo de viaje de ida ajustados

Tiempo de viaje de ida	Proporción inicial (sin ponderar)	Método de ajuste	
		Ponderación por celda	Raking
Menos de 15 minutos	10,4 (6,2 - 14,6)	12,5 (6,7 - 18,3)	12,5 (6,8 - 18,3)
15 - 30 minutos	29,2 (22,9 - 35,5)	32,6 (24,6 - 40,5)	32,7 (24,8 - 40,5)
30 - 45 minutos	18,8 (13,4 - 24,2)	16,3 (10,5 - 22,2)	16,3 (10,5 - 22,1)
45 minutos - 1 hora	14,4 (9,5 - 19,2)	13,4 (7,8 - 19,0)	13,3 (7,8 - 18,9)
1 hora - 1 hora y 15 minutos	9,4 (5,4 - 13,4)	10,1 (4,8 - 15,4)	9,9 (4,8 - 15,1)
1 hora y 15 min - 1 hora y 30 min	6,9 (3,4 - 10,4)	6,2 (2,4 - 10,1)	6,2 (2,4 - 10,1)
1 hora y 30 min - 1 hora y 45 min	4,5 (1,6 - 7,3)	3,1 (1,0 - 5,1)	3,2 (1,0 - 5,4)
1 hora y 45 minutos - 2 horas	4,0 (1,3 - 6,6)	3,6 (0,7 - 6,4)	3,7 (0,8 - 6,5)
Más de 2 horas	2,5 (0,3 - 4,6)	2,2 (0 - 4,7)	2,1 (0 - 4,5)

Nota: Valores en paréntesis corresponden al intervalo de confianza al 95 %.

Por el otro lado, para los tiempos de viaje de vuelta, como se aprecia en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se dio una variación del 3 % en el porcentaje de personas que duran entre 15 y 30 minutos en regresar del centro de trabajo. Adicionalmente, la proporción de personas que dura entre una hora y hora y media disminuyó casi un 2 %.

**Cuadro 12.** Porcentajes por tiempo de viaje de vuelta ajustados

Tiempo de viaje de ida	Proporción inicial (sin ponderar)	Método de ajuste	
		Ponderación por celda	Raking
Menos de 15 minutos	8,9 (5,0 - 12,8)	9,8 (4,7 - 14,8)	9,9 (4,9 - 14,9)
15 - 30 minutos	22,3 (16,5 - 28,0)	25,2 (17,8 - 32,6)	25,6 (18,3 - 32,9)
30 - 45 minutos	17,3 (12,1 - 22,5)	17,9 (11,4 - 24,5)	17,7 (11,3 - 24,2)
45 minutos - 1 hora	13,4 (8,7 - 18,1)	13,8 (7,9 - 19,7)	13,7 (7,9 - 19,4)
1 hora - 1 hora y 15 minutos	8,9 (5,0 - 12,8)	7,1 (3,2 - 11,0)	7,0 (3,1 - 10,9)
1 hora y 15 min - 1 hora y 30 min	7,4 (3,8 - 11,0)	5,5 (2,3 - 8,7)	5,5 (2,3 - 8,7)
1 hora y 30 min - 1 hora y 45 min	8,9 (5,0 - 12,8)	8,0 (3,5 - 12,4)	7,8 (3,5 - 12,2)
1 hora y 45 minutos - 2 horas	7,4 (3,8 - 11,0)	7,3 (3,0 - 11,7)	7,3 (3,0 - 11,7)
Más de 2 horas	5,4 (2,3 - 8,6)	5,4 (1,7 - 9,1)	5,4 (1,7 - 9,1)

Nota: Valores en paréntesis corresponden al intervalo de confianza al 95 %.

En cuanto a la distancia, fue en esta categoría en que se obtuvo el mayor cambio porcentual, específicamente la proporción de personas que viajan una distancia entre dos y cinco kilómetros; como se observa en el Cuadro 13, el porcentaje

aumentó un 5 % con ambos métodos de ajuste. En el caso de las personas que están a una distancia entre diez y veinte kilómetros, la proporción disminuyó en más de un 3 %; así mismo, el porcentaje de los que viajan más de veinte kilómetros disminuyó más de un 2,5 %.

**Cuadro 13.** Porcentajes por distancia del hogar al centro de trabajo ajustados

Distancia	Proporción inicial (sin ponderar)	Método de ajuste	
		Ponderación por celda	Raking
Menos de 2 km	3,0 (0,6 - 5,3)	3,9 (0,4 - 7,3)	4,0 (0,5 - 7,4)
Entre 2 km - 5 km	22,3 (16,5 - 28,0)	27,4 (19,7 - 35,1)	27,5 (19,8 - 35,1)
Entre 5 km - 10 km	22,8 (17,0 - 28,6)	23,6 (16,4 - 30,9)	23,3 (16,2 - 30,4)
Entre 10 km - 20 km	25,2 (19,3 - 31,2)	21,5 (15,3 - 27,7)	22,0 (15,8 - 28,2)
Más de 20 km	25,2 (19,3 - 31,2)	22,8 (15,9 - 29,6)	22,5 (15,8 - 29,2)
No sabe	1,5 (0 - 3,2)	0,8 (0 - 1,8)	0,8 (0 - 1,8)

Nota: Valores en paréntesis corresponden al intervalo de confianza al 95 %.

Luego de analizar los resultados obtenidos con el método de “*raking*” y el de ponderación por celdas, puede decirse que en general ambos métodos dan resultados muy similares.

En caso de que el lector requiera de un mayor detalle respecto a otras variables analizadas, se recomienda la consulta de la publicación de Pizarro-Moraga (2017).

### 3. Conclusiones

La metodología aplicada permitió elaborar un análisis de movilidad en centros de trabajo institucionales. Fue posible identificar los patrones de movilidad de los funcionarios de la sede central del Mopt, en Plaza Víquez. Los resultados del proyecto pueden servir como insumo para la elaboración de un plan de movilidad institucional, especialmente considerando que existen proyectos como Ciudad Gobierno que puede afectar los patrones de movilidad en la zona.

Se detectaron posibles sesgos por cobertura y participación. Sesgo por cobertura debido a que, con la encuesta electrónica se excluye a los funcionarios que no poseen cuenta de correo electrónico; de participación, debido a que la encuesta es de llenado voluntario.

A pesar de que los métodos de ponderación no generaron diferencias significativas en los resultados obtenidos, podrían permitir mejorar las estimaciones finales, al considerar el grado de participación de cada subgrupo analizado. Ambos métodos presentaron resultados consistentes para las respuestas analizadas.

Este tipo de estudios podría permitir, por ejemplo, hacer mejores evaluaciones con respecto al efecto de políticas públicas para el incentivo de ciertos modos de transporte.

Al desagregar los resultados por sexo y edad, se pueden identificar rápidamente diferencias respecto al modo de transporte utilizado. Por ejemplo, el porcentaje de hombres que conducen el vehículo para ir a trabajar es mayor que la de mujeres.

El hecho de que solo una persona indicara que viaja hacia el trabajo en bicicleta, podría reflejar la ausencia de políticas que promuevan el transporte activo al momento de hacer el estudio, por lo que se recomienda incentivar el uso de la bicicleta y dotar de ciertas facilidades a los usuarios de este medio.

#### **4. Agradecimientos**

Se agradece el apoyo y la colaboración del Departamento de Gestión de la Información y del Conocimiento de la Secretaría de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, especialmente a la Máster Rosa María Morales Rodríguez.

#### **5. Referencias**

1. Alcantara de Vasconcellos, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. CAF.
2. Browne, M., Ayala, C., Vega, M. J. y Marchant, C. (2016) *Encuesta Nacional de Medio ambiente y cambio climático 2016*. Santiago de Chile. Recuperado de: [http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/Informe-Final\\_2016.pdf](http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/Informe-Final_2016.pdf)
3. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2005). *Congestionamiento del Flujo Vehicular en la Gran Área Metropolitana de San José: Recopilación, Análisis y Posicionamiento*.
4. Comari, C. (2010). Ponderación de la muestra y tratamiento de valores faltantes en las variables de ingreso en la Encuesta Permanente de Hogares. *Metodología*, 15, 2-51.

5. Decreto Ejecutivo N° 39330-MOPT-H-PLAN-MIVAH Declaratoria de interés público y nacional del proyecto ciudad gobierno, segunda etapa. (10 de febrero del 2016). Publicado en La Gaceta N° 28. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
6. Díaz de Rada, V. D. (2004). Problemas de representatividad en las encuestas con muestreos probabilísticos. *Papers: revista de sociología*, (74), 45-66.
7. Fallas, L. (25 de octubre de 2015). ¿Por qué necesitamos una ciudad gobierno? *El Financiero*. Recuperado de: [http://www.elfinancierocr.com/opinion/Opinion-Luis\\_Fallas-Mideplan-ciudad\\_gobierno-deficit\\_fiscal-alquileres-gobierno\\_central\\_0\\_834516550.html](http://www.elfinancierocr.com/opinion/Opinion-Luis_Fallas-Mideplan-ciudad_gobierno-deficit_fiscal-alquileres-gobierno_central_0_834516550.html)
8. Federación Española de Municipios y Provincias. (2005). *Diseño y Elaboración de Encuestas Locales de Movilidad Sostenible*. Red Española de Ciudades por el Clima. Recuperado de: <http://www.redciudadesclima.es/sites/default/files/8869c791c9a4bfd6415e83215eda03b6.pdf>
9. Hernández, C. (22 de febrero de 2016). Ciudad Gobierno declarado proyecto de interés Nacional. *GobiernoCR*. Recuperado de <http://gobierno.cr/ciudadgobiernointeresnacional/>
10. Hernández-Vega, H, Morales-Aguilar, M., Jiménez-Romero, D., Loría-Salazar, L. (2014). *Resultados de la Encuesta de Transporte 2013, Sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica*. PITRA, Unidad de Seguridad Vial y Transportes, San José.
11. Kalton, G., & Flores-Cervantes, I. (2003). Weighting methods. *Journal of Official Statistics*, 19(2), 81.
12. Kish, L. (1979). *Muestreo de encuestas*. México: Trillas
13. L.C.R. Logística S.A. (2007). *Estudio de Oferta y Demanda de Transportes de la GAM. Tomo I Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana*. Informe Final. San José
14. Loría, L. G., Barrantes, R., Jiménez, D., Lezama, V., Morales, M., Rodríguez, J. D., Vega, P. (2014). *Vigesimoprimer informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: Implicaciones en infraestructura y transportes*. Informe Final. San José.
15. Machado, R. (2015). *Assessment of Corporate Mobility Management programs in Costa Rica-potential to reduce car trips to office centers*. Tesis para optar por el grado de Maestría en Sistemas de Transporte. Universidad Técnica de Múnich, Múnich, Alemania.
16. Madden, M., Lenhart, A., Duggan, M., Cortesi, S., & Gasser, U. (2013). *Teens and technology 2013* (pp. 1-19). Washington, DC: Pew Internet & American Life Project.
17. Mompert, A., Medina, A., Brugulat, P., y Tresserras, R. (2007). Encuesta de Salud de Catalunya, 2006. Un instrumento de planificación sanitaria. *Índice*, 20, 19-22.
18. Monge, J. F., & Juan, A. A. (2002). *Estadística no paramétrica: prueba chi-cuadrado*  $\chi^2$ . Disponible en: [https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi\\_cuadrado.pdf](https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi_cuadrado.pdf)

19. Mora, A. (24 de febrero de 2016). Proyecto Ciudad Gobierno es declarado de interés nacional. *ElPaís.cr*. Recuperado de: <http://www.elpais.cr/2016/02/24/proyecto-ciudad-gobierno-es-declarado-de-interes-nacional/>
20. Moya-Mora, A. L. (2017). Análisis de la movilidad de estudiantes y funcionarios hacia y en el campus central del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
21. O'neal, K. (3 de junio de 2016) Más del 60 % de los universitarios utiliza transporte público. *Noticias UCR*. Recuperado de: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2016/06/03/mas-del-60-de-los-universitarios-utiliza-transporte-publico.html>
22. Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. (2008). *Modelos de Transporte*. Ediciones Universidad de Cantabria.
23. Pizarro-Moraga, A. (2017). *Análisis de movilidad en centros de trabajo institucionales: Caso de estudio de la sede central del Ministerio de Obras Públicas y Transportes*. Informe, trabajo Final de Graduación. Universidad de Costa Rica
24. Ríos-Flores, R. A., Vicentini, V. L., & Acevedo-Daunas, R. M. (2013). *Guía práctica: Estacionamiento y políticas de reducción de congestión en América Latina (No. 80918)*. Inter-American Development Bank. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/publication/17409/practical-guidebook-parking-and-travel-demand-management-policies-latin-america>
25. Sauma, Rojas, San Gil, Moya (2018) *Guía para la construcción e implementación de planes empresariales de movilidad sostenible*. Disponible en: [http://www.aedcr.com/sites/default/files/guia\\_movilidadesostenible.pdf](http://www.aedcr.com/sites/default/files/guia_movilidadesostenible.pdf)
26. Särndal, C. E. (2011). The 2010 Morris Hansen Lecture. Dealing with survey nonresponse in data collection, in estimation. *Journal of Official Statistics*, 27(1), 1-21.
27. Shih, T. H., & Fan, X. (2008). Comparing response rates from web and mail surveys: A meta-analysis. *Field Methods*, 20(3), 249-271.
28. Spijker, J., Pérez, J., & Cámara, A. D. (2008). Cambios generacionales de la estatura en la España del siglo XX a partir de la Encuesta Nacional de Salud. *Estadística española*, 50(169), 571-604.