

Medidas de complejidad de la agenda de actividades

COMPLEXITY MEASURES FOR THE AGENDA OF ACTIVITIES

Javiera L. Cadena^a, C. Ángelo Guevara^{b*}, Carlos Cartes^a

a Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de los Andes, Chile.

b Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile.

* Autor para correspondencia:
crguevar@ing.uchile.cl

RESUMEN

Proponemos una medida de complejidad de la agenda de actividades en base al número y la exclusividad de las actividades realizadas. La aplicación de la medida propuesta a datos reales de la EOD 2001 de Santiago de Chile, sugiere que la agenda de actividades de los usuarios de transporte privado es más compleja que la de los usuarios del transporte público, incluso controlando por ingreso, composición del hogar, género y posesión de licencia. Este resultado provee sustento preliminar a una hipótesis novedosa que explicaría en parte diferencias en el valor subjetivo del tiempo de viaje entre modos.

Palabras clave: valor subjetivo del tiempo de viaje, agenda de actividades, complejidad.

ABSTRACT

We propose a measure for the complexity of agenda of activities, based on the number and the exclusivity of the activities performed. The application of this measure to Santiago de Chile's 2001 mobility survey, suggests that the agenda of activities of private-modes' users is more complex than the agenda of public-transport's users, even after controlling by income, gender household composition and driving license. This result provides preliminary support for a novel hypothesis that might explain in the value of time.

Keywords: subjective value of travel time, complexity, agenda of activities.

1. INTRODUCCIÓN

El valor subjetivo del ahorro de tiempo de viaje, en adelante VSTV, corresponde a la disposición que tienen los agentes a realizar un mayor gasto monetario para reducir marginalmente su tiempo de viaje (ver, por ejemplo, Jara-Díaz y Guevara, 2003). La importancia de estudiar el VSTV radica en que su evaluación es fundamental para determinar el beneficio social de los proyectos de transporte, con el fin de destinar de manera eficaz los recursos para mejorar la calidad de vida de las comunidades.

Wardman (1997) identifica 20 estudios en los cuales se estima el VSTV por modo de viaje y reporta que en seis de ellos el valor obtenido es mayor para el auto que para el bus. Este hallazgo representa que el transporte público es considerado menos cómodo, de difícil acceso y de mayor incertidumbre que el transporte privado y, por lo tanto, las personas deberían estar más dispuestas a pagar por ahorrar una unidad marginal de tiempo en el bus que en el auto. Así mismo Cadena (2013) realiza una reestimación de una base de datos existente y muestra nuevamente el mismo resultado contra intuitivo.

Frente a esta aparente contradicción empírica se han estudiado teóricamente dos tipos de explicaciones. La primera se relaciona con que el transporte público tiene atributos positivos que explicarían la diferencia, como por ejemplo, que el tiempo puede ser comparativamente más productivo. En efecto, Frei y Mahmassani (2011) señalan que los usuarios del

transporte público utilizan los “smartphones” y otros aparatos de asistencia personal para enviar y responder e-mails, para jugar y para obtener direcciones u otro tipo de información en el camino a sus destinos. Además de la entretención y la posible utilidad, estas actividades también ayudarían a los seres humanos a abstraerse en los espacios públicos concurridos haciendo que los viajes sean menos estresantes, favoreciendo la experiencia de viaje. Sin embargo, a pesar de que existe evidencia de que el transporte público tiene atributos positivos como la ocupación y la productividad del tiempo, es difícil aceptar que ellos sean suficientes para explicar la diferencia en la estimación del VSTV, especialmente cuando se contraponen el hecho de que el transporte público es menos cómodo, de difícil acceso y presenta mayor incertidumbre que el auto. Con respecto a esto último, se puede mencionar como ejemplo el estudio cualitativo realizado por Beirão y Sarsfield (2007) a partir del cual se infiere que “si el servicio de transporte público es poco fiable, ofrece baja frecuencia y/o presenta bajo confort, las personas tenderán a elegir el auto porque no perciben el transporte público como una alternativa viable para ellos/as”.

La segunda explicación para los mayores VSTV hallados en el modo auto, se relaciona con el efecto de autoselección derivado de las especificaciones del modelo a partir del cual se estima. De acuerdo a Nerhagen (2000), el sesgo producido en las estimaciones del VSTV se debe principalmente a las formas de incluir en el modelo los atributos que influyen las elecciones del modo de viaje, de manera que los resultados obtenidos son representativos de aquellos usuarios que están utilizando un modo en particular, pero no son generalizables a otros usuarios. Dicho de otra forma, se pueden esperar mayores valores en el auto porque los individuos que tienen un mayor VSTV, *ceteris paribus*, tienden a elegir los modos más rápidos.

En un esfuerzo por añadir nuevas explicaciones a este resultado contra intuitivo Guevara (2016) propone una extensión y una reinterpretación del marco microeconómico del VSTV en la cual relaciona el VSTV con el valor subjetivo del tiempo como recurso (VSTR). El autor hace notar que las personas deciden qué actividades realizar y cuánto tiempo dedicarle a cada una de ellas condicionalmente a la elección del modo de viaje. De esta manera, cuando se produce un ahorro en el tiempo de viaje, y por consiguiente un aumento en el tiempo como recurso, la reasignación del tiempo a actividades ociosas probablemente difiere porque las actividades programadas dependen del modo de transporte disponible. Por lo tanto, el ahorro del tiempo de viaje que produce un aumento en el tiempo como recurso será valorado de manera diferente condicionalmente a la elección del modo. Por ejemplo, como se muestra en la figura derecha de la Figura 1b, si una persona sabe que al día siguiente podrá utilizar el auto entonces planea su día para ir al gimnasio por la tarde y cuando se produce un ahorro en el tiempo de viaje, representado por la línea punteada en la figura, éste puede ser reasignado al gimnasio, a estar en casa o a ambos (línea roja de la figura). En cambio si la persona al día siguiente no tiene disponible el automóvil podría preferir no hacer deporte porque ir en bus al gimnasio significa un gran esfuerzo para ella, y luego un ahorro en el tiempo de viaje sólo le permite regresar a casa más temprano (figura izquierda). Entonces, de acuerdo a lo planteado por el autor, la valorización del ahorro del tiempo de viaje difiere condicionalmente a la elección del modo ya que no es lo mismo disponer de tiempo para estar en casa que para ir al gimnasio.

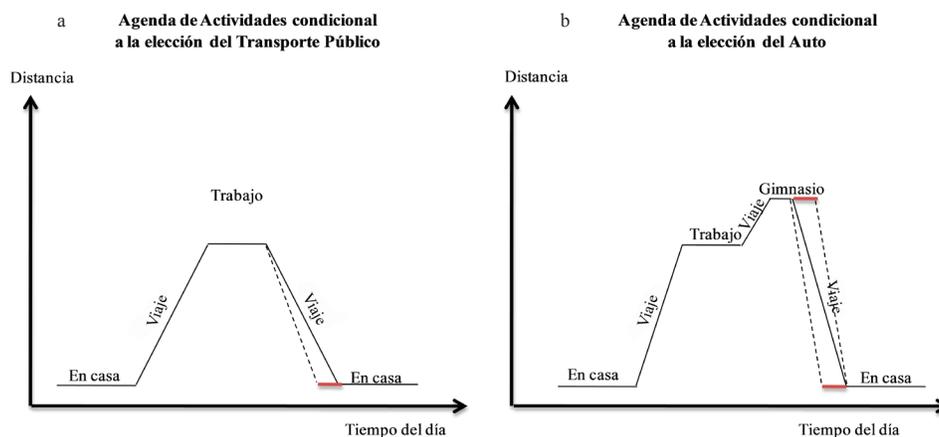


Figura 1. Ejemplo de la reasignación del ahorro del tiempo de viaje a actividades condicional a la elección del modo de viaje.

Esta investigación se desarrolla para sustentar la teoría de Guevara (2016) sobre el papel que podría desempeñar la programación de actividades en el hallazgo empírico de mayores VSTV para los usuarios del auto. El estudio se orienta esencialmente a analizar las actividades que realizan diariamente las personas para establecer si quienes viajan en transporte privado (auto) tienen una composición de actividades más compleja que quienes lo hacen en transporte público (bus). En efecto, siguiendo el ejemplo anterior es posible intuir que la disponibilidad del automóvil permite programar una estructura de actividades más compleja que cuando se debe viajar en transporte público.

Para entrar de lleno en el estudio de la complejidad es primordial tener en mente que las medidas de la complejidad de los sistemas surgen en base a diferentes ideas dependiendo del campo de estudio. Por ejemplo, mientras que en programación interesa identificar la complejidad de diferentes algoritmos, en termodinámica la complejidad de un sistema se refiere a la entropía del mismo. En efecto, Edmonds (1999) sugiere que la dificultad en la definición de complejidad radica en que depende del aspecto que interesa observar y por lo tanto es relativa al observador. Así, aunque este concepto ha sido ampliamente estudiado en la literatura desde diferentes campos de estudios no se ha consolidado una única definición de complejidad que abarque las particularidades de cada área.

Es así como en la literatura existen numerosas ideas entorno a lo que sugiere el concepto de complejidad y usualmente cada área de estudio posee su propia definición dependiendo la unidad que se esté analizando (ver Cadena, 2013). En el contexto de esta investigación la unidad de análisis corresponde a la agenda de actividades, concepto derivado del patrón de actividades que se utiliza en el área de transporte para identificar la demanda real de viajes derivada de la participación en actividades. McNally y Rindt (2008) definen el patrón de actividades como el comportamiento revelado de viajes y actividades en un periodo de tiempo específico a través del cual se intenta caracterizar el comportamiento de viajes describiendo el tipo de actividad, el orden en que se realizan, el lugar, la duración y el medio de transporte entre otros. La agenda de actividades, a diferencia de este último, no considera el orden en que se realizan las actividades por lo tanto requiere menos dimensiones para su caracterización y herramientas computacionales más sencillas para su tratamiento.

Por otro lado, de acuerdo a lo planteado por Xing y Manning (2005) existen algunas ideas generales que rodean el concepto de complejidad y que están conectadas con éste, como por ejemplo el tamaño de elementos básicos como un indicador de la dificultad general para tratar un sistema y de la potencial complejidad del mismo, la variedad o desorden y las reglas estructurales que determinan las interconexiones de las partes de un objeto. Estas tres ideas podrán iluminar el camino para definir en cada caso lo que representa mayor y menor complejidad y establecer aquello que lo cuantificará. Además, las distintas definiciones de complejidad pueden ser clasificadas en tres grandes categorías de acuerdo al grado de ordenamiento. La primera corresponde a las definiciones que consideran la complejidad como funciones monótonas crecientes del desorden como se muestra en la Figura 2a. En la segunda categoría se encuentran aquellas definiciones que se refieren a la complejidad como una función convexa del desorden, es decir, la complejidad es mínima tanto para los sistemas perfectamente ordenados como para los perfectamente desordenados y máxima para algún punto intermedio como en la Figura 2b. En tercer lugar existen algunas definiciones que identifican el nivel de complejidad con la auto-organización y la auto-organización con el orden como en la Figura 2c. (Ver ejemplos en Shiner et al., 1999) En el contexto de la agenda de actividades y a la luz de las ideas anteriores, la mayor complejidad estará relacionada con la mayor cantidad y variedad de actividades siendo posible determinar, como se observará más adelante, una medida de complejidad representada por una función monótona creciente del desorden.

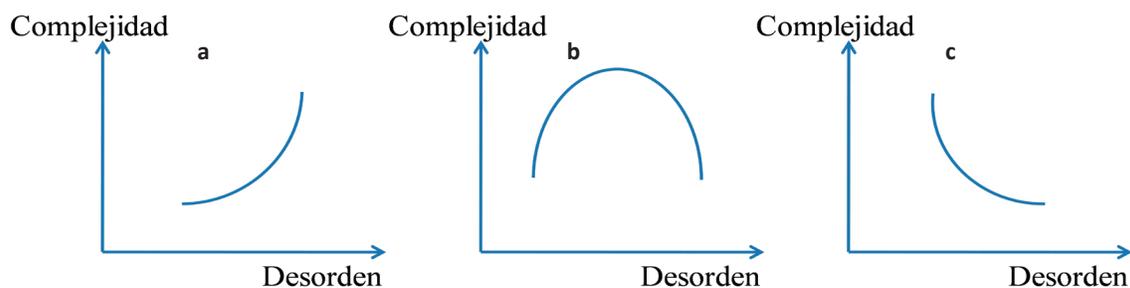


Figura 2. Las tres categorías de la complejidad como función del desorden. Figura extraída de Shiner, Davison y Landsberg (1999).

Esta investigación presenta otra dificultad además de la definición del concepto complejidad, ya que en la bibliografía es posible advertir que la agenda de actividades no se estudia como tal sino indirectamente a través del patrón de actividades. En efecto, en transporte lo que interesa es conocer los patrones de comportamiento similares para lo cual se han desarrollado métodos que agrupan patrones de actividad homogéneos (por ejemplo Pas, 1983) pero que no cuantifican sus diferencias. Luego, no es posible aplicar directamente un método a patrones de actividad y concluir sobre la agenda de actividades.

El objetivo general de este trabajo fue desarrollar una medida de complejidad de la agenda de actividades y utilizarla para estudiar de forma preliminar si existe evidencia empírica que sugiera que la agenda de actividades que presentan los usuarios del transporte privado es más compleja que la que presentan los usuarios del transporte público. La metodología que se utilizó consistió, en una primera etapa, en adaptar el método para medir complejidad de Hidalgo y Hausmann (2009) al contexto de la agenda de actividades y en proponer una medida de complejidad alternativa inspirada en el mismo. En una segunda etapa se aplicaron las dos medidas de complejidad a datos reales utilizando la Encuesta Origen y Destino de Viajes del Gran Santiago 2001 (SECTRA, 2001) y se realizó una comparación entre ambas, lo que permitió observar que la adaptación del método de Hidalgo y Hausmann (2009) no arrojó los resultados esperados. Fundamentalmente la agregación de las actividades que fueron derivadas de los propósitos de viaje y la selección de la muestra en base al modo de viaje para ir al trabajo conformaron una matriz de datos estructuralmente distinta a la utilizada en el trabajo original de los autores, con escasas diferencias entre las agendas de actividades, lo que derivó en la introducción de difusión en los datos y en la imposibilidad para determinar una única medida de complejidad. Además se encontró que este método posee limitaciones para estudiar las agendas de actividades por modos de viaje (ver detalles en Cadena, 2013), razón por la cual se utilizó la medida de complejidad alternativa para analizar la complejidad de la agenda de actividades por modo de viaje.

Este documento expone el desarrollo de la medida de complejidad alternativa y su aplicación a datos reales. Luego se presentan los resultados del análisis de la agenda de actividades por modos de viaje. Finalmente se enuncian algunas conclusiones sobre el trabajo realizado y las futuras investigaciones que se podrían desarrollar a partir de éste.

2. MEDIDA DE COMPLEJIDAD DE LA AGENDA DE ACTIVIDADES

La adaptación de la medida de complejidad de Hidalgo y Hausmann (2009) al contexto de la agenda de actividades inspiró el desarrollo de una medida alternativa que represente de forma más adecuada e intuitiva lo que implica una agenda de actividades más y menos compleja.

El desarrollo de una medida de complejidad de la agenda de actividades exige definir las dimensiones que la identifican y evaluar cómo éstas determinan el nivel de complejidad. Las unidades que representan una agenda de actividades corresponden esencialmente a las personas y sus actividades, por lo tanto se utilizará una matriz M , como la de la ilustración 3, donde las filas corresponden a las personas y las columnas a los tipos de actividades, tal que M_{ij} es el número de actividades tipo j que realizó la persona i .

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Numero de actividades tipo } j \\ \hline \mathbf{2} & \dots & \mathbf{7} & \dots & \mathbf{1} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \mathbf{1} & \dots & \mathbf{1} & \dots & \mathbf{0} \\ \dots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ \mathbf{1} & \dots & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{1} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \\ \hline \end{matrix} & \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \\ \text{Personas } (i) & & & & & \end{matrix}$$

En primer lugar es posible reconocer de forma intuitiva que una persona que realiza muchas actividades en el día tiene una agenda más compleja que una persona que distribuye su tiempo en pocas actividades. Así, el número n_i de actividades de la persona i es fundamental para determinar el nivel de complejidad de su agenda y se puede obtener a través de la siguiente ecuación:

$$n_i = \sum_j M_{ij} \quad (1)$$

En segundo lugar es posible incluir en la medida de complejidad de la agenda una dimensión para evaluar el carácter obligatorio de las actividades, ya que por ejemplo si se considera que trabajar y estar en casa son actividades básicas y obligatorias para las personas, entonces dedicarse sólo a estas actividades es menos complejo que ir a trabajar, ir de compras y luego volver a casa. Así analizando la frecuencia de actividades en la población se puede determinar el grado de obligatoriedad de cada actividad, de manera que cuando se observan muchas personas realizando la actividad trabajar, ésta supone mayor obligación que otra actividad de menor frecuencia como por ejemplo, ir al gimnasio. La ecuación 2 representa la frecuencia f_j de una actividad j para la matriz M definida anteriormente, mientras que la obligatoriedad de la actividad j está dada por el inverso de la frecuencia y disminuye a medida que aumenta la exclusividad e_j de la misma definida en la ecuación 3.

$$f_j = \sum_i M_{ij} \quad (2)$$

$$e_j = \frac{1}{f_j} = \frac{1}{\sum_i M_{ij}} \quad (3)$$

Para observar mayor complejidad en la agenda de quienes realizan mayor cantidad de veces una determinada actividad, es necesario multiplicar la exclusividad e_j por el número M_{ij} de repeticiones. Así, e_{ij} en la ecuación 4 representa la exclusividad de la actividad j para la persona i .

$$e_{ij} = e_j M_{ij} \quad (4)$$

Luego, sumando a través de las columnas de la matriz como en la ecuación 5, se obtiene la exclusividad de la agenda de actividades de la persona i . De esta manera, si una persona realiza una actividad que es muy habitual en la población, esa actividad aporta menos a la complejidad de su agenda que el desarrollo de una actividad menos habitual.

$$E_i = \sum_j e_{ij} = \sum_j e_j M_{ij} \quad (5)$$

Finalmente, se puede definir la medida de complejidad C_i de la agenda de actividades de la persona i como un par ordenado del número n_i de sus actividades y de la exclusividad E_i de su agenda.

$$C_i = (n_i, E_i) \quad (6)$$

3. APLICACIÓN A DATOS REALES

3.1 Base de datos

La medida de complejidad introducida anteriormente será aplicada a datos reales utilizando la Encuesta Origen y Destino de Viajes del Gran Santiago 2001 (SECTRA, 2001), en adelante EOD, que tiene por objetivo conocer los horarios, el motivo y destino de los viajes y el medio de transporte elegido de los habitantes de la ciudad de Santiago, la capital de Chile. Esta encuesta se realizó durante el periodo julio de 2001 a abril de 2002 a una muestra aleatoria de 15.000 hogares (60.000 personas aproximadamente) y 150.000 ocupantes de vehículos de las 34 comunas del Gran Santiago y en las zonas de Pirque, Calera de Tango, Lampa y Colina (Muñoz et al., 2015).

La muestra utilizada está constituida por personas mayores de 18 años con viajes realizados en vehículos motorizados, con los propósitos codificados según la Tabla 1 y en día hábil de cualquier mes excepto enero y febrero. De los propósitos de viaje se han derivado las actividades que se considerarán en la agenda de las personas, por ejemplo, un viaje con propósito “al trabajo” revela que la persona está trabajando y un viaje con propósito “Comer o Tomar algo” revela que la persona está realizando la actividad

comer. En la muestra utilizada se han considerado los viajes que no presentan registros de la zona de origen o destino y tampoco los realizados por 32 *outliers*¹. La muestra final está compuesta por los viajes de 7.875 personas pertenecientes a 5.553 hogares.

Tabla 1
Codificación de propósitos de viaje en a EOD 2001

Código propósito	Descripción	Códigopropósito	Descripción
0	Al trabajo	7	Comer o Tomar algo
1	Por trabajo	8	Buscar o dejar algo
2	Al estudio	9	De compras
3	De salud	10	Trámites
4	Ver a alguien	11	Recreación
5	Volver a casa	12	Otra cosa
6	Buscar o Dejar a alguien		

Para estudiar las diferencias de la agenda de actividades de acuerdo al medio de transporte, se clasificó a las personas según el modo de viaje que utilizaron para ir al trabajo, ya que este viaje condiciona las actividades del día en la mayoría de las personas. Dicho de otra forma, se ha supuesto que el transporte utilizado en el viaje al trabajo se mantiene para todos los viajes realizados durante el día. En la Tabla 2 se muestran los modos de viaje incluidos en cada medio de transporte.

Como unidad principal de análisis de la agenda de actividades se definió el perfil de actividades que consiste en una serie de números separados por guiones que representan la cantidad de viajes realizados con propósito igual a la posición en que se encuentra cada número. Por ejemplo, el perfil “1-1-0-0-0-7-9-0-0-1-0-0-0” presentado en la Tabla 3 indica, en orden de izquierda a derecha, que la persona realiza una vez la actividad “trabajo”, una vez una actividad “por trabajo”, siete veces “estar en casa”, nueve veces va a “buscar o dejar a alguien” y una vez realiza “compras”. Con la definición del perfil de actividades se pueden analizar en conjunto a todas las personas que desarrollan la misma agenda de actividades.

Tabla 2
Modos de viaje incluidos en cada medio de transporte en la EOD.

Clasificación	Modos y combinaciones de transporte
Privado	Auto chofer; Auto acompañante; Moto chofer; Moto acompañante; Taxi; Radio Taxi.
Público	Bus; Tren; Metro; Metrobus; Taxi colectivo; Bus-Bus; Metrobus; Metrobus-Bus; Bus o Metrobus-Metro; Metro-Tren; Bus o Metrobus-Taxi colectivo; Taxi colectivo_Metro.
Combinado	Auto chofer-Metro; Auto acompañante-Metro; Taxi-Metro; Bus o Metrobus-Taxi; Auto acompañante-Bus o Metrobus.
No Motorizado	Bicicleta; Caminata.
Otros	Otro-metro; Transporte escolar; Transporte Institucional; Otro.

¹ En este caso los outliers corresponden a personas y hogares que presentan tiempos de viaje poco racionales en base a su origen y destino, o bien los datos de origen y destino del viaje no presentan relación alguna.

Tabla 3
Codificación del Perfil de actividades "1-1-0-0-0-7-9-0-0-1-0-0-0"

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Descripción del propósito del viaje	Al trabajo	Por trabajo	Al estudio	Desalud	Ver a alguien	A casa	A buscar/dejar a alguien	Comer/Tomar algo	Abuscar/dejar algo	De compras	Trámites	Recreación	Otra cosa
Nº de viajes	1	1	0	0	0	7	9	0	0	1	0	0	0

Para estudiar la agenda de actividades por modo de viaje se definieron los perfiles de actividad privados y públicos. Los primeros indican una distribución de actividades realizada únicamente por personas que viajan en los modos pertenecientes al transporte privado y no existe ninguna persona que realice esa agenda de actividades en transporte público. Por el contrario, los segundos indican una distribución de actividades realizada únicamente por personas que viajan en transporte público y no existe ninguna persona que realice esa agenda de actividades en los modos del transporte privado. En la muestra de la EOD se identificaron en total 734 perfiles diferentes de los cuales 325 son privados y 250 públicos.

3.2 Aplicación de la medida de complejidad a la EOD

Al aplicar la medida de complejidad a la muestra de la EOD se verificó que las actividades con menor exclusividad efectivamente son las consideradas de mayor obligación; como se aprecia en la Figura 3 los viajes más frecuentes y menos exclusivos son para volver a casa e ir al trabajo, mientras que los menos frecuentes y más exclusivos son con propósitos de salud y para ir a buscar o dejar algo.

De acuerdo a la definición de la medida de complejidad (ecuación 6), los perfiles de actividad se pueden organizar en un ranking ordenando primero según el número de viajes y luego por la exclusividad de las actividades. Así, el primer lugar del ranking corresponde al perfil que representa la realización de mayor cantidad de actividades con mayor exclusividad y se ordenan sucesivamente dando siempre prioridad al número de actividades.

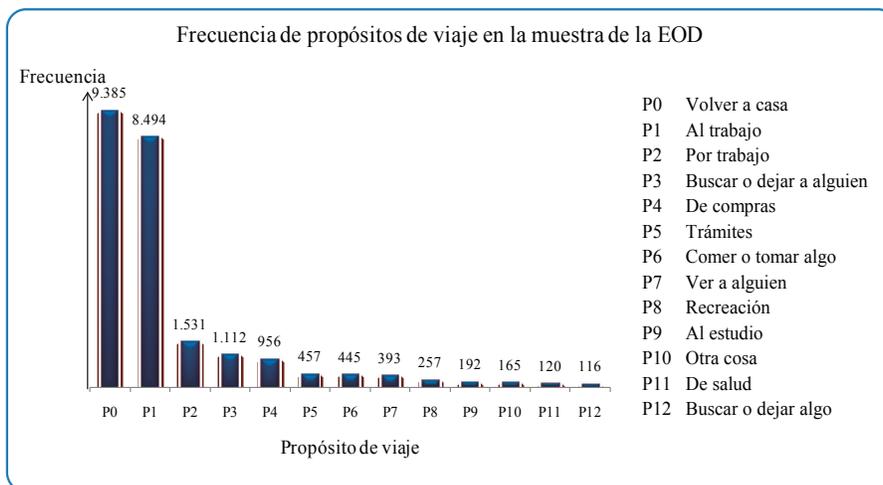


Figura 3. Frecuencia de propósitos de viaje en la muestra de la EOD

En primer lugar, con el objetivo de estudiar la agenda de actividades por modos de viaje, se calculó el promedio del ranking de los perfiles exclusivos de cada modo y se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 4. Éstos sugieren que las personas que viajan exclusivamente en transporte privado tienen una agenda de actividades más compleja que las personas que viajan exclusivamente en transporte público, poniendo de manifiesto que la medida propuesta asigna el nivel de complejidad de la agenda de acuerdo a lo esperado.

Tabla 4
Promedio del ranking de complejidad de perfiles exclusivos

	Exclusivo Privado	Exclusivo Plúblico
Numero de perfiles	325	250
Promedio del ranking	286	361
Varianza del ranking	37.332	38.448

Observando las Tablas 5 y 6 se puede verificar que la medida de complejidad integra la idea intuitiva de que una mayor complejidad en la agenda de actividades involucra el desarrollo de mayor cantidad de actividades.

Tabla 5
Cinco perfiles exclusivos de transporte privado con mayor complejidad

Perfil exclusivo de transporte privado	Nº de actividades	Ranking
3-5-0-1-0-2-5-1-0-0-1-1-0	19	1
1-1-0-0-0-7-9-0-0-1-0-0-0	19	2
1-11-0-0-0-2-0-0-1-0-2-0-0	17	3
3-6-0-0-0-3-2-0-0-0-2-0-0	16	4
5-0-0-0-0-1-6-0-1-2-0-0-0	15	5

Tabla 6
Cinco perfiles exclusivos de transporte público con mayor complejidad

Perfil exclusivo de transporte público	Nº de actividades	Ranking
2-0-1-0-0-2-3-0-2-2-1-0-0	13	9
2-6-0-0-0-2-0-0-0-1-0-2-0	13	12
2-2-0-0-1-1-3-1-2-0-0-0-0	12	15
2-6-0-0-0-1-0-1-0-0-1-1-0	12	18
1-8-0-0-0-1-0-1-0-0-1-0-0	12	21

Así mismo, al extraer los perfiles de los cinco últimos lugares de cada ranking, se obtienen las Tablas 7 y 8, donde se puede verificar que aún para las agendas de actividades más simples, la medida asigna mayor complejidad a los perfiles con mayor número de actividades.

Tabla 7
Cinco perfiles exclusivos de transporte privado con menor complejidad

Perfil exclusivo de transporte privado	Nº de actividades	Ranking
1-0-0-0-0-3-0-0-0-0-0-0-0	4	700
1-0-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-0	3	714
1-1-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0-0	3	715
2-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	3	719
1-0-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0	2	727

Tabla 8
Cinco perfiles exclusivos de transporte público con menor complejidad

Perfil exclusivo de transporte público	Nº de actividades	Ranking
1-0-1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	2	724
1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-1-0	2	725
1-0-0-0-1-0-0-0-0-0-0-0-0	2	726
1-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-1-0-0	2	728
2-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	2	752

En segundo lugar se identificó a los usuarios de transporte privado y de transporte público según su viaje al trabajo y se graficaron las componentes de la medida de complejidad en un plano cartesiano. La Figura 4 muestra los resultados en gráficos de dispersión (A y B) y de burbujas (C y D), donde el tamaño de la burbuja corresponde a la frecuencia de la medida de complejidad en la muestra. En ellos es posible reconocer que los usuarios del transporte privado realizan mayor número de actividades y más exclusivas que los usuarios del transporte público, conformando una suerte de Frontera de Complejidad de la Agenda de Actividades (FCAA) que es más amplia para los primeros. Bajo la tesis de que las personas realizan actividades condicionalmente a la elección del modo de viaje, una posible explicación para este hallazgo es que el medio de transporte público estaría limitando las actividades de sus usuarios.

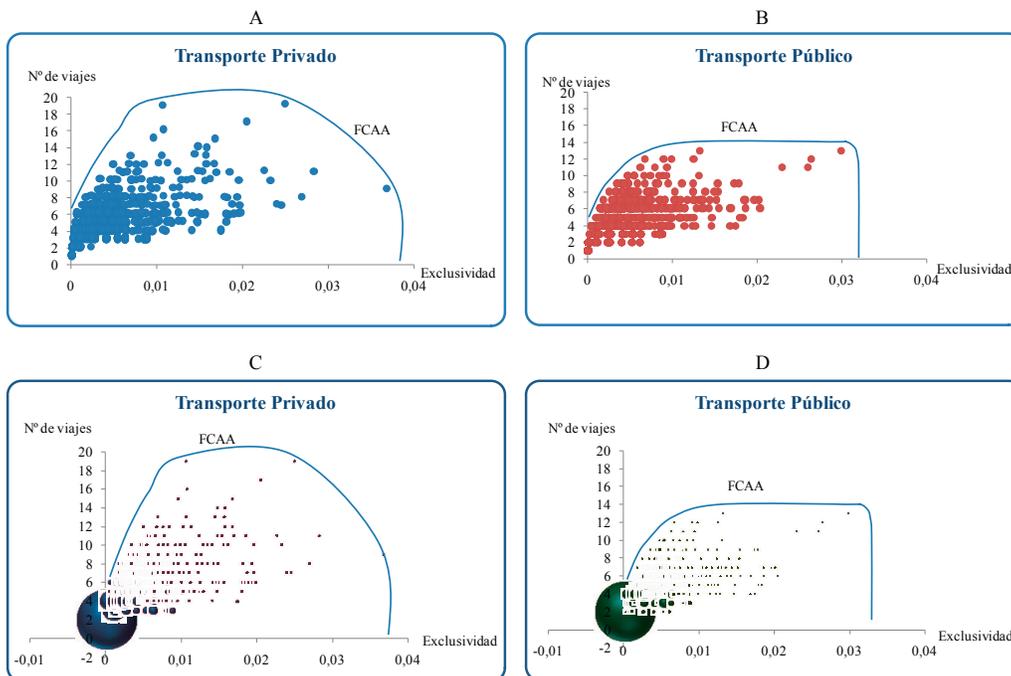


Figura 4. Gráficos de complejidad de la agenda de actividades por modo de viaje

Adicionalmente es posible apreciar en la ilustración 5 la existencia de gran cantidad de personas realizando dos viajes de muy poca exclusividad, tanto en el transporte privado como en el público. De acuerdo a la Tabla 9 los viajes más comunes son aquellos con propósito “al trabajo” y “volver a casa” lo que indica que la mayoría de las personas van al trabajo y vuelven a casa sin realizar otro tipo de actividades.

Tabla 9
Frecuencia de propósitos de viaje de la EOD

Propósito	Frecuencia	Propósito	Frecuencia
Volver a casa	9385	Ver a alguien	393
Al trabajo	8949	Recreación	257
Por trabajo	1531	Al estudio	192
Buscar o dejar a alguien	1112	Otra cosa	165
De compras	956	De salud	120
Tramites	457	Buscar o dejar algo	116
Comer o tomar algo	445		

Observando el histograma de distancias de viaje presentado en la Figura 5 se puede apreciar que la mayor frecuencia corresponde, en efecto, a los viajes obligatorios (VO) que involucran las mayores distancias. Esto indica que es posible que la mayoría de las personas necesite asignar mayor tiempo para “ir al trabajo” y “volver a casa” y disponga de menos tiempo para desempeñar otro tipo de actividades, justificando el resultado de la tabla anterior.

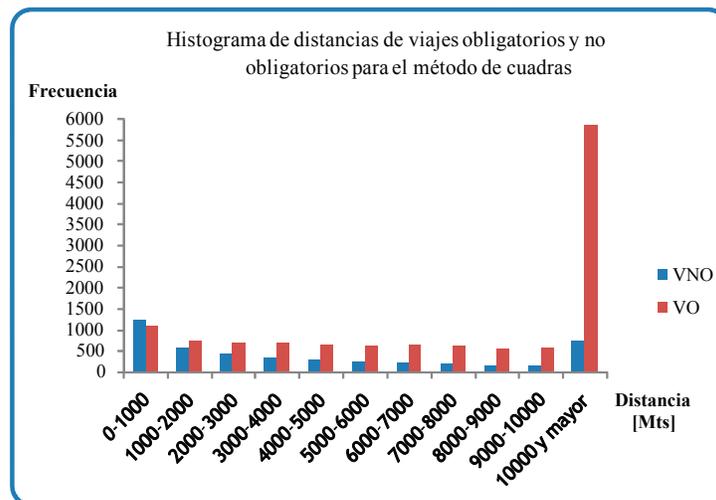


Figura 5. Histograma de distancias de viaje por tipos de viajes

Finalmente, de acuerdo a lo expuesto en esta sección, se puede decir de forma preliminar que la medida alternativa incorpora adecuadamente las ideas intuitivas sobre complejidad de la agenda de actividades y además no presenta ningún impedimento para realizar el análisis por modos de viaje.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La medida de complejidad alternativa fue utilizada para analizar estadísticamente la hipótesis que señala que las personas que viajan en transporte público presentan una agenda de actividades menos compleja que las que viajan en transporte privado. El análisis se realizó a las agendas de actividades obtenidas de la EOD (SECTRA, 2001), bajo el supuesto de que cada una de las componentes de la medida propuesta posee una distribución normal estándar.

A partir de la generación de intervalos de 95% de confianza del promedio por modos de cada una de las componentes de la medida propuesta, se puede decir de manera general que existe evidencia que sugiere que la agenda de actividades del transporte privado es más compleja que la del transporte público. Este resultado se presenta en la Figura 6 donde se ha amplificado 10.000 veces la componente de Exclusividad.

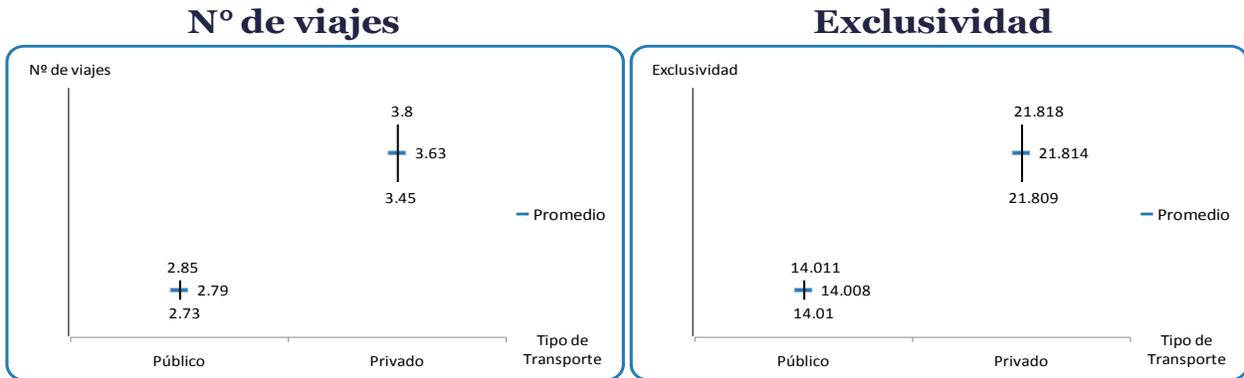


Figura 6. Resultados Generales

Tomando en consideración que un mayor nivel de ingresos podría facilitar el acceso a los modos de transporte privado y permitir la realización de una agenda de actividades más compleja, se decidió estudiar la hipótesis en los grupos de alto, medio y bajo ingreso per cápita. Así mismo es esperable que las personas que poseen licencia de conducir puedan realizar agendas de actividades más complejas en relación a las que no poseen esta licencia, por lo cual también se estableció la posesión de licencia de conducir como grupo de control. Además, las personas que pertenecen a hogares donde hay presencia de menores de 18 años podrían tener que realizar actividades relacionadas con la movilización de ellos, induciendo la complejidad de la agenda e incluso podría esperarse algún sesgo relacionado con el género, luego es interesante controlar por la presencia de menores en los hogares, el género y las combinaciones de éstos.

En la Tabla 10 se presenta un resumen de los resultados obtenidos con un 95% de confianza en cada grupo de control. Se puede apreciar que todos los grupos de control presentan evidencia que sugiere que la agenda de actividades del transporte privado es más compleja que la del transporte público excepto en las personas que no poseen licencia de conducir y que son de altos o bajos ingresos per cápita.

Tabla 10
Resumen de resultados por grupos de control

Grupo de control	¿Existe evidencia que sugiera que la Agenda del T.Privado es más compleja que la del T.Público?			
	Con LC		Sin LC	
	Sí	No	Sí	No
Ingreso per cápita (IP)			Sí	
Presencia de menores			Sí	
Género			Sí	
IP y Presencia de menores			Sí	
Género y presencia de menores			Sí	
Posesión de licencia de conducir (LC)			IP bajo	IP medio
			IP alto	
IP y Posesión de LC	Con LC	Sí	Sí	Sí
	Sin LC	No	Sí	No

En los grupos de altos y bajos ingresos que no poseen licencia de conducir se encontró que las personas que viajan en transporte privado realizan actividades comunes u obligatorias dado que el promedio de la exclusividad es significativamente menor que en el transporte público como se muestra en la Tabla 11 y 13. En contraste, de la Tabla 12 es posible inferir que las personas sin licencia de conducir con nivel de ingreso medio son menos sensibles al costo de viaje porque la decisión de trasladarse en transporte privado no condiciona la exclusividad de las actividades.

Tabla 11

Complejidad de la agenda de actividades de las personas con nivel bajo de ingreso per cápita y que no poseen licencia de conducir

	Nº de Actividades		Exclusividad (x10000)	
	T.Público	T.Privado	T.Público	T.Privado
Nº de persona	3552	256	3552	256
Promedio	2,69	2,76	12,646	10,608
Límite Inferior	2,63	2,51	12,644	10,604
Límite Superior	2,74	3,01	12,647	10,612

Tabla 12

Complejidad de la agenda de actividades de las personas con nivel medio de ingreso per cápita y que no poseen licencia de conducir

	Nº de Actividades		Exclusividad (x10000)	
	T.Público	T.Privado	T.Público	T.Privado
Nº de persona	190	48	190	48
Promedio	3,08	2,98	17,689	20,115
Límite Inferior	2,79	2,53	17,679	20,099
Límite Superior	3,37	5,43	17,699	20,132

Tabla 13

Complejidad de la agenda de actividades de las personas con nivel alto de ingreso per cápita y que no poseen licencia de conducir

	Nº de Actividades		Exclusividad (x10000)	
	T.Público	T.Privado	T.Público	T.Privado
Nº de persona	238	71	238	71
Promedio	3,03	2,90	16,973	16,567
Límite Inferior	2,77	2,55	16,964	16,556
Límite Superior	3,28	3,25	16,982	16,578

Es importante señalar que las personas que no poseen licencia de conducir son un pequeño número en la muestra y que al controlar por ingresos este número se reduce aún más posibilitando la existencia de sesgo en los resultados. Además, es posible que las personas de estrato alto que eligen no adquirir licencia de conducir sean personas de mayor edad y/o que no se interesan por realizar agendas de actividades complejas, lo cual introduciría un sesgo por auto-selección en la muestra.

Adicionalmente se encontraron tres interesantes resultados:

- Cuando hay presencia de menores en el hogar las agendas de actividades son más complejas, no por el número de actividades sino por la mayor exclusividad de ellas, aún controlando por ingresos.
- Las mujeres realizan actividades más exclusivas que los hombres, incluso cuando hay presencia de menores.
- Las personas con licencia de conducir realizan actividades más complejas que las personas sin licencia de conducir en todos los rangos de ingresos.

Con respecto a este último resultado será importante estudiar el sesgo de autoselección involucrado, para controlar a aquellas personas que obtienen licencia de conducir porque desean realizar agendas de actividades complejas.

Finalmente, si bien el supuesto de normalidad puede ser cuestionable, ya que por construcción las componentes de la medida de complejidad propuesta nunca toman valores menores o iguales a cero, se obtuvieron resultados razonables y no se consideró necesario ajustar otra distribución para obtener resultados más fidedignos.

5. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió verificar de forma preliminar que la agenda de actividades de las personas que viajan en transporte privado es más compleja que la de las personas que viajan en transporte público, aun cuando se controla por ingresos, presencia de menores en el hogar, género y posesión de licencia de conducir.

Este trabajo consideró los siguientes aspectos novedosos: (1) se propuso una medida de complejidad que recoge las principales características de lo que supone una agenda de actividades más y menos compleja, (2) se aplicó dicha medida a datos reales y (3) se analizó la complejidad de la agenda de actividades por modo de viaje.

El trabajo realizado abre nuevas líneas de investigación importantes de continuar. En primer lugar, investigar si el valor del tiempo como recurso está siendo afectado por un sesgo de auto-selección, en el sentido de que las personas que desean desarrollar actividades más complejas están eligiendo el transporte privado. Controlar este efecto permitiría verificar completamente la explicación dada por Guevara para los mayores VSTV estimados en el auto. Una posibilidad para dar cuenta del potencial problema de auto-selección podría ser analizar el fenómeno mediante un modelo de regresión lineal en el cual la complejidad sea la variable explicada y el resto de las variables jugaran el rol de variables explicativas. Bajo dicho marco, se podrían aplicar métodos para corrección de endogeneidad como, por ejemplo, el método de mínimos cuadrados en dos etapas u otros similares.

En segundo lugar, se sugiere estudiar si los resultados varían o se mantienen al incorporar otros parámetros en la medida de complejidad, tales como, las distancias de viaje y el número de actividades respecto del tiempo dedicado a su realización.

En tercer lugar, puede ser útil estudiar la validez de los resultados encontrados en esta investigación desarrollando nuevos métodos que permitan medir la complejidad de la agenda de actividades, o bien ajustando alguna distribución de probabilidad para las componentes de la medida de complejidad.

Por último, con respecto a la estimación del VSTV, se sugiere estudiar la forma de incluir el valor del tiempo como recurso en los modelos de elección discreta, por ejemplo a través de la inclusión del número de actividades en las variables sistemáticas, para analizar si los valores que se obtienen son más acordes a la realidad. De esta manera, se posibilitaría la inversión en proyectos de transporte urbano que favorezcan el bienestar social.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación fue financiada en parte por FONDECYT 11110131, 1155090 y el Instituto de Sistemas Complejos, ISCI (CONICYT: FB0816).

REFERENCIAS

- Beirão, G. y Sarsfield, J.A. (2007) Understanding attitudes towards public transport and private car: a qualitative study. *Transport Policy*, 14, 478-489.
- Cadena, J.L. (2013) Medidas de Complejidad de la Agenda de Actividades. Memoria de Título, Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil.
- Edmonds, B. (1999) What is complexity? - The philosophy of complexity per se with application to some examples in evolution. En *The Evolution of Complexity*, Kluwer Dordecht.
- Frei, C. y Mahmassani, H.S. (2011) Private time on public transit: dimensions of information and telecommunication use of chicago transit riders. Presented at Transportation Research Board 90th Annual Meeting, 11-4244.
- Guevara, C.A. (2017) Mode-valued differences of in-vehicle travel time savings. *Transportation*, 44(5), 977-997.
- Hidalgo, C.A. y Hausmann, R. (2009) The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Science*, 106 (20), 10570-10575.
- Jara-Díaz, S.R. y Guevara, C.A. (2003) Behind the subjective value of travel time savings. *Journal of Transport Economics and Policy*, 37(1), 29-46.
- McNally, M. y Rindt, C. (2008) The Activity-Based Approach. (U. o. California, Ed.) Recuperado el 15 de 11 de 2012, de <http://escholarship.org/uc/item/86h7f5v0>
- Muñoz, V., Thomas, A., Navarrete, C. y Contretar, R. (2015) Encuesta origen destino de Santiago 2012: Resultados y validaciones. *Ingeniería de Transporte*, 14(1), 21.
- Nerhagen, L. (2000) Mode Choice Behavior, Travel Mode Choice Models and Value of Time Estimation - A Literature Review. Dalarna University, T&S.
- Olguín, J., Munizaga, M.A. y Jara-Díaz, S.R. (2009) Análisis de patrones de actividades a partir de la EOD 2001. *Ingeniería de Transporte*, 13(4), 31-38
- Pas, E.I. (1983) A flexible and integrated methodology for analytical classification of daily travel-activity behavior, *Transportation Science*, 17, 405-429.
- SECTRA. (2001) Encuesta origen y destino de viajes del Gran Santiago. Estudio desarrollado por DICTUC para la Secretaría de planificación y transporte, Santiago de Chile.
- Shiner, J., Davison, M. y Landsberg, P. (1999) Simple measure for complexity. *Physical Reviews E*, 59 (2), 1459-1464.
- Wardman, M. (1997). A Review of Evidence on the Value of Travel Time in Great Britain. Working Paper 495, University of Leeds, Institute for Transport Studies.
- Xing, J. y Manning, C. A. (2005). Complexity and automation displays of air traffic control: Literature review and analysis. FAA: Tech. Rep. DOT/FAA/AM-05/4