

# Modelación de transporte e incertidumbre

## MODELING TRANSPORT AND UNCERTAINTY

Dr. Luis Willumsen\*

Kineo Mobility Analytics & Profesor Visitante University College, London

\* Autor para correspondencia:  
luis.willumsen@kineo-analytics.com

### RESUMEN

El año 2016 mostró varios cambios inesperados que confirman que el futuro es cada vez más difícil de predecir. Esta dificultad resulta de, al menos, dos influencias: un porcentaje importante de la población no confía en las autoridades formales y sus expertos, y un progreso muy rápido de la tecnología que afecta hábitos, formas de trabajo e incluso valores. El artículo explora qué implica esto para la modelación del transporte investigando si estamos haciendo las preguntas adecuadas y si nuestros modelos pueden responderlas. En lo fundamental, se argumenta que debemos adaptar nuestra aproximación a la planificación y modelación a este nuevo contexto y para ello se hacen recomendaciones para el corto y mediano plazo.

Palabras clave: modelación, incertidumbre, planificación, riesgo, homo sapiens

### ABSTRACT

*The year 2016 brought many surprises confirming that the future is less forecastable than we assumed in our practice. Two influences seem to be important: that a significant percentage of the population no longer trusts formal government and its experts, and rapid technological progress affecting work, habits and even values. The paper explores what this implies for transport planning and modelling. It questions whether we are asking the right questions and if our models are up to the task. It suggests the need to adapt transport planning and modelling to a highly uncertain future and makes some specific recommendations for the short and medium term.*

*Keywords: modelling, uncertainty, planning, risk, homo sapiens*

## 1. EL FUTURO ES MÁS INCIERTO

Si la crisis financiera de 2007/2008 no logró persuadirnos de que el futuro es incierto e imprevisible, entonces 2016 debería haberlo hecho. De Brexit a Trump, vehículos autónomos a realidad virtual, el mundo parece ser menos evidente y predecible que hace cinco años. Este artículo explora qué implica esto para la práctica de la modelación del transporte y la toma de decisiones como una contribución a una discusión más amplia; no se ofrecen soluciones completas sino lineamientos que estimulen una exploración más profunda, entre académicos, profesionales y quienes toman decisiones, de cómo enfrentar estos desafíos. El artículo adopta una perspectiva de planificación del sector público con énfasis en el transporte de pasajeros; la previsión de tráfico en concesiones de transporte y la modelación de carga ofrecen problemas y desafíos adicionales.

El problema de un futuro cada vez más incierto refleja al menos dos influencias:

- Que un porcentaje importante de la población no confía plenamente en su gobierno, ni en sus expertos; ni siquiera la prensa formal escapa a esta desconfianza y se prefieren a veces los rumores y certezas de las redes sociales. Esto ha llevado a una alta incertidumbre política.

- La velocidad de la innovación tecnológica que afecta a muchos aspectos de nuestras vidas; desde formas de trabajo, compras y entretenimiento pasando por la satisfacción instantánea de cualquier pregunta de acuerdo con nuestras preferencias. Este cambio rápido, impulsado por la tecnología, hace incierto imaginar con confianza cómo operaremos en el futuro.

La incertidumbre política no es nueva pero con el resurgimiento del populismo y un nuevo nacionalismo adquiere un carácter más impredecible que afecta a la economía, la asignación de recursos y enfatiza la equidad. Es, en parte, una reacción a un mundo cada vez más desigual con complejidades que son difíciles de asimilar; de ahí un anhelo por “verdades” sencillas, incluso simplistas. Hemos aprendido, a su costo, que no estábamos escuchando las preocupaciones válidas de aquellos que se sienten dejados atrás. Esta turbulencia probablemente durará algún tiempo y como modeladores no podemos ignorar a quienes se sienten no escuchados.

La segunda fuente inevitable de incertidumbre es la innovación tecnológica. Esta tiene varias caras e influye en prácticas, preferencias y valores. Se ha dicho que pasamos a la segunda parte del crecimiento exponencial de la “Ley” de Moore (Friedman, 2016) y que la innovación tecnológica sólo se acelerará creando un problema de adaptación para las personas y gobiernos. Las compras por Internet, la presencia a distancia, la realidad virtual y aumentada, los vehículos autónomos y la fabricación aditiva (impresión 3D) cambiarán no sólo como conectamos diferentes actividades, sino las actividades mismas y en forma difícil de predecir.

Apoyado por la tecnología, el mundo del trabajo también está cambiando: la mayor parte del crecimiento del empleo no ha sido en las empresas, sino en los trabajadores independientes que operan por su cuenta; ellos viajan de manera diferente a los empleados y todo sugiere que serán más numerosos en el futuro.

Estamos navegando en aguas desconocidas, en el transporte y otros campos, y éstas parecen tormentosas. Imaginar un solo futuro parece ingenuo y peligroso. Necesitamos herramientas para prever diferentes futuros probables y estimar el impacto de inversiones y políticas en cada uno de ellos: este es el papel central de los modelos de transporte. Aquí podemos tener un problema serio, ya que hemos desarrollado y utilizado modelos como herramientas de previsión bajo el supuesto implícito que el futuro no será muy diferente del pasado. ¿Estarán estos modelos a la altura de apoyar la toma de decisiones en un futuro imbuido de grandes y nuevas incertidumbres?

## 2. REVISAR NUESTRA APROXIMACIÓN A LA MODELACIÓN

Lo único seguro del futuro es que no va a ser como esperamos o imaginamos; incluso con los mejores modelos de transporte para apoyar la toma de decisiones. Vale la pena explorar entonces, casi desde primeros principios, cuál es el tipo de modelo o enfoque que nos serviría mejor para lidiar con futuras incertidumbres. Creo que esto requiere:

- Hacer la pregunta apropiada teniendo en cuenta las incertidumbres futuras;
- Reconocer las dificultades;
- Aceptar las limitaciones que no podemos eliminar en el corto plazo;
- Seleccionar un enfoque;
- Identificar áreas a mejorar en corto y mediano plazo;
- Probarlas, evaluar y refinar.

La pregunta básica se ha planteado a menudo como una versión de: “¿cuál será el mejor modelo para predecir con exactitud el impacto de la intervención X en el futuro?”. Cuando el futuro es tan incierto como se sugirió más arriba, esta resulta ser la pregunta equivocada; ninguna predicción puede ser exacta, excepto por azar, en este contexto.

Un objetivo mejor y más realista sería “¿Cómo modelar el transporte para proporcionar el mejor apoyo a una política de transporte o la mejor asesoría de inversión para la sociedad del futuro?”. Esto restituye a los modelos su capacidad de dar apoyo a las decisiones en lugar de ser simples herramientas de pronóstico. Esta es, por supuesto, una pregunta muy general; para refinarla necesitamos considerar las dificultades y limitaciones a su respuesta.

### 3. RECONOCER LAS DIFICULTADES

El segundo paso es reconocer las dificultades que enfrentamos al intentar prever el impacto de futuras intervenciones y planes de transporte. Aquí se combinan los problemas de error en los modelos e incertidumbre futura. Existen dos fuentes principales de errores en los modelos y dos fuentes principales de incertidumbre en el futuro.

Los modelos son inevitablemente aproximaciones, ya que son representaciones simplificadas de la realidad desde una perspectiva particular. Su utilidad se deriva de su simplificación que nos permite examinar muchas opciones que resultarían imposiblemente onerosas de probar en la práctica. Su simplificación, por otra parte, reduce su precisión. Queda pendiente la pregunta del nivel óptimo de detalle que nos entrega el modelo más confiable para un uso determinado.

Otra fuente de inexactitud de los modelos son los datos del año base utilizados para calibrarlos y validarlos. Estos datos normalmente son muestras imperfectas, contaminadas y frecuentemente inadecuadas, que dependen - a veces - de la veracidad de testigos no muy fiables.

Dadas estas dos limitaciones, la exactitud de una predicción parece un objetivo razonable para horizontes a corto plazo, digamos de 1 a 5 años. Más allá de eso, un conjunto diferente de incertidumbres tiende a dominar la exactitud de cualquier pronóstico: los “datos” futuros y escenarios inesperados generan una incertidumbre irreducible. Si los datos del año base están contaminados, los datos de entrada de años futuros (población, uso del suelo, PIB per cápita, precios de los combustibles, etc.) están definitivamente e inevitablemente llenos de errores.

Por ejemplo, todas las proyecciones de dónde vivirán los individuos en el futuro, cuáles serán sus preferencias e ingresos, han demostrado ser erróneas (Rayer y Smith, 2008) y mientras más granulares las proyecciones más erróneas. Basta considerar cómo los pronósticos del PIB a corto plazo cambian cada trimestre, incluso para los países más desarrollados y estables. La fuente final de incertidumbre la aportan cambios demasiado difíciles de prever, los “cisnes negros” de Nissim Taleb (2007): escenarios inesperados. Estamos lejos de comprender el impacto de algunas perturbaciones que sí esperamos: vehículos autónomos y conectados, fabricación aditiva (impresión 3D) y la realidad aumentada, lo que podemos llamar “cisnes moteados”. Habrá algunos cambios que no esperamos, como no previmos los teléfonos inteligentes, Uber ni Airbnb. Pretender que podemos predecir con precisión el impacto de una futura intervención en el transporte no sólo es poco ético, sino que tampoco permite asesorar efectivamente a quienes toman decisiones.

### 4. LIMITACIONES

Un tercer paso es considerar los aspectos de nuestros modelos actuales que limitan su utilidad y realismo, pero que pueden superarse con suficiente investigación e ingenio, al menos en el largo plazo. Considero aquí cinco limitaciones significativas:

- a. El supuesto del homo economicus. Este individuo racional y egoísta que considera todas las alternativas, las sopesa cuidadosamente y selecciona aquella que maximiza su utilidad, sustenta nuestros modelos de elección y la gran mayoría de la Economía como ciencia. Homo economicus es un dispositivo útil para generar formulaciones matemáticas elegantes, pero está lejos de ser realista. Esto crea un conflicto entre el rigor del modelado y el realismo. Homo sapiens es menos racional, reconoce sólo unas pocas alternativas y con poca precisión, es a veces altruista, se deja llevar por emociones, es influenciado por acontecimientos externos y por lo que hacen sus semejantes, o al menos dicen que hacen. Homo sapiens da más importancia a una pérdida que a una ganancia de igual magnitud y es más sensible a cambios relativos que a valores absolutos. Hay margen para mejorar estos supuestos con mejores investigaciones y nuevas teorías. Pero reemplazar estos supuestos con mejores teorías requiere repensar varios de nuestros modelos.
- b. El supuesto de la regularidad de actividades (Activity Regularity Assumption). Obtenemos datos de un día (a veces de una mezcla de días) y tendemos a suponer que los patrones de viaje serán representativos de un mítico “día promedio”. En realidad, hacemos cosas diferentes todos los días; los viajes no recurrentes son cada vez más relevantes. Se puede obtener evidencia empírica de esto comparando los números de placa en una calle principal en un día y verificando si aparecen los mismos en días posteriores. Cherrett y McDonald (2002) hicieron esto en cuatro lugares en Southampton y comprobaron que dependiendo de la vía sólo entre el 25% y el 49% de los vehículos reaparecen en

días consecutivos. Las actividades cambian con el tiempo: Ir al gimnasio es una aspiración relativamente reciente; ya no alquilamos DVDs y cada vez compramos más por Internet. Mejorar este supuesto poco realista ha sido difícil por la ausencia de datos longitudinales de bajo costo y recolectados regularmente.

- c. Falta de series temporales sobre el comportamiento de viajeros. Nuestros modelos dependen demasiado de datos transversales y asumimos que éstos serán útiles para modelar cómo cambiarán las elecciones bajo otras circunstancias. Nuestros modelos son estáticos no sólo en tráfico sino también en conducta. Mientras no obtengamos mejores fuentes de datos y mejores paneles, las limitaciones de los datos de corte transversal hacen inevitable que adoptemos supuestos no muy realistas como el siguiente.
- d. La estabilidad de los parámetros del modelo. En esencia, la constancia temporal de nuestras preferencias y valores. La realidad no es así: como argumenta Eagleman (2015) nuestro cerebro está continuamente siendo re-conectado y re-programado, influenciado por otros, experiencias, ideas y valores; basta constatar los recursos destinados a la publicidad. Cambiamos de opinión en formas difíciles de prever. Estamos lejos de entender, menos aún predecir, cómo cambiaremos nuestras preferencias (parámetros) en el futuro. Con todo, el supuesto de estabilidad de los parámetros de nuestros modelos seguirá siendo el mejor, aunque erróneo, supuesto para los próximos años.
- e. Nuevos escenarios, nuevas tecnologías. Es muy probable que el contexto de los viajes futuros sea bastante diferente del actual. Sabemos que nuevas tecnologías socavarán el status quo retando conceptos aparentemente sólidos como la propiedad del automóvil y los vehículos personales (Willumsen y Kohli, 2016). Hay poco que podamos hacer en este campo, excepto mantener un monitoreo continuo del futuro de la ciencia y la tecnología y explorar con nuestros modelos futuros alternativos imaginando sus posibles impactos. También debemos tratar de predecir la evolución de la demografía afectada por la migración, más cambios en las prácticas de trabajo y los valores sociales, ya que todos estos configuran nuevos contextos y nuevos desafíos de modelización.

La investigación progresará atacando varias de estas limitaciones. Otras permanecerán resistentes a la mejora, así como lo son en otras áreas como la Economía y las Ciencias Sociales.

## 5. SELECCIÓN DE UN ENFOQUE

Como modeladores y planificadores tenemos el deber de cuidar los intereses de nuestros clientes. No cumplimos con este deber cuando ofrecemos una única “mejor estimación” del impacto de una intervención futura. Sólo podemos proporcionar un rango de estimaciones y cuanto más alejado el horizonte futuro, más amplio es el espacio de pronósticos definido por nuestros esfuerzos de modelación. Dada esta incertidumbre sobre el futuro, nuestro deber es asesorar a quienes toman decisiones de gobierno sobre:

- Políticas que son efectivas bajo diferentes futuros dentro del espacio de pronósticos;
- Políticas que funcionan bien bajo un futuro, pero pueden adaptarse fácil y rápidamente a otros contextos;
- Proyectos que producen buenos beneficios bajo todos los futuros probables;
- Proyectos que se pueden adaptar a diferentes futuros a bajo costo y rápidamente; como generalmente la flexibilidad tiene un precio, el concepto de Opciones Reales o “Real Options”, proporciona un marco para tratar y evaluar este tipo de intervenciones (New Zealand Ministry of Transport, 2016);
- Planes y políticas flexibles y adaptables a futuros cambiantes que son preferibles a intervenciones mayores pero inflexibles.

Hay que reconocer que esto significa un cambio en la forma de pensar de los modeladores, planificadores y quienes toman decisiones. El problema es que entregar una sola previsión como nuestra mejor estimación cuando sabemos que el futuro es incierto, parece ser injusto con nuestros clientes y poco ético en nuestra profesión. Esta “mejor estimación” es sencillamente engañosa.

Entonces, ¿qué debemos hacer en esta situación? Creo que hay diferentes caminos para mejorarla, tanto en el corto como mediano plazo. Tenemos también algunos “cabos sueltos” que vale la pena atar antes de que se transformen en críticos y porque pueden ayudar a enfrentar nuevos desafíos.

## 6. IDENTIFICAR MEJORAS

### 6.1 Dos aproximaciones a la modelación

El mundo académico y profesional busca activamente mejorar las bases de la modelación del transporte. Es posible distinguir dos aproximaciones posibles. La primera busca mejorar la riqueza conductual, la granularidad y nivel de detalle de los modelos. Esta tendencia, liderada lógicamente por el mundo académico, ve los modelos como una progresión desde la analogía física (por ejemplo modelo gravitacional) a modelos desagregados basados en conceptos de utilidad aleatoria basados en viajes o circuitos. En la actualidad la expresión de esta tendencia es promover los modelos basados en actividades (Activity Based Modelling) que pueden incluso eliminar el uso de zonas y permitir un re-ajuste de actividades dentro de cada hogar; la micro-simulación basada en agentes es la herramienta de trabajo preferida, ver por ejemplo Lu et al (2015). No todos los países ni organizaciones han adoptado esta perspectiva.

Una segunda aproximación es enfatizar el tratamiento de la incertidumbre y aceptar que no todo comportamiento es modelable; es necesario reconocer el rol activo del modelador y de sus interpretaciones y juicios basados en el conocimiento técnico y la experiencia. Esta tendencia se centra en el análisis de escenarios (por ejemplo Zmud et al, 2013), el análisis probabilístico de incertidumbre (por ejemplo Bowman et al, 2002), el análisis estocástico de riesgos (por ejemplo Willumsen, 2014) y el tratamiento de Real Options (por ejemplo New Zeland Ministry of Transport, 2016).

Estas dos aproximaciones no son necesariamente excluyentes.

### 6.2 En el corto plazo

En los próximos años deberíamos desarrollar mejores formas de usar nuestros modelos. Los enfoques actuales, incluidos los Modelos Basados en Actividades, no abordan ninguna de las cuestiones anteriores. Sin embargo, podemos usar estos modelos en mejor forma, abordando las preocupaciones actuales, lidiando con la incertidumbre y quizás compensando algunas limitaciones.

Por ejemplo, se pueden extraer las elasticidades más importantes de un modelo detallado y complejo y procesarlas, en torno a un caso central, para definir el espacio de proyecciones futuras y estudiar el rendimiento de diferentes intervenciones en ese contexto. Este tratamiento, Exploratory Modelling and Analysis (Análisis y Modelación Exploratoria), se basa en las ideas de Lempert et al (2003) y está siendo utilizado para adaptar cualquier modelo, incluyendo Activity Based Modelling, a los requerimientos de alta incertidumbre.

Debemos atender el problema de la equidad. Los modelos deberían ejecutarse de modo que los resultados identifiquen claramente quienes se benefician y quienes pierden con cualquier intervención; no sólo desde una perspectiva geográfica sino también socioeconómica. También sería útil distinguir por separado beneficios o pérdidas grandes y pequeñas, ya que las segundas son probablemente más inciertas y por cierto menos perceptibles.

En ciertos casos podemos compensar algunos de los supuestos menos razonables en nuestros modelos. Por ejemplo, el supuesto de cambio instantáneo de empleo o residencia, implícito en el modelo gravitacional; podría ser deseable introducir rezagos en estas respuestas mediante el uso de las distribuciones del modelo de un año anterior.

Contamos ahora con nuevas fuentes de datos recogidos de forma pasiva y que ayudarán a proporcionar información más rica para apoyar nuestros modelos. Sin embargo, debemos desarrollar la mejor manera de usarlas ya que tienen una naturaleza diferente a los datos convencionales. Recientemente hemos empezado a procesar las huellas digitales que arrojan algunos dispositivos permanentemente activados, en particular los teléfonos móviles y navegadores GPS. Como argumentan Picornell y Willumsen (2016), estos datos ofrecen series de tiempo que deben iluminar, aunque no sin sombras, cómo cambiamos nuestro comportamiento cuando las condiciones cambian: cierres de carreteras, huelgas de transporte público y otras interrupciones planeadas o inesperadas.

Por cierto que debemos tratar más explícitamente la incertidumbre de nuestras proyecciones. Esto no requiere herramientas nuevas sino la aplicación de técnicas comunes en otras disciplinas para hacer frente a futuros múltiples: planificación de escenarios, análisis estocástico de riesgo, árboles de decisión y opciones reales. Algunas de estas herramientas hacen hincapié

en consultas y colaboración, en particular en la especificación de escenarios futuros; un buen ejemplo es el documento *Futuros Toolkit* (HM Government, 2014) del Reino Unido. Esto abre perspectivas para enriquecer nuestra práctica haciéndola más abierta y colaborativa.

### 6.3 Objetivos a más largo plazo

Esperamos que la investigación se centre en la mejor manera de abordar estos temas y cómo mejorar algunas de las limitaciones de los enfoques y modelos actuales.

- a. Homo Sapiens en lugar de Homo Economicus. Reemplazar este supuesto es difícil ya que se han buscado soluciones a este problema en diferentes ramas de la Economía y otras ciencias con poco éxito. Al parecer, sólo podremos tener mejoras parciales en un futuro próximo. Los esfuerzos de Tversky y Kahneman (Kahneman, 2011), en particular la Prospect Theory, son un paso positivo. Las ideas de Chorus (2014) y Bahamonde-Birke y Ortúzar (2017) contribuyen también a una modelación más cercana a homo sapiens. Sin embargo, a veces estas mejoras son difíciles de adoptar sin comprometer otras características de nuestros enfoques actuales, por ejemplo el equilibrio simultáneo.
- b. Supuesto de la Regularidad de Actividades. Esta es otra tarea difícil, pero el uso de huellas digitales de sensores pasivos ofrece oportunidades para mejorar formas de análisis y modelización. Estas nuevas fuentes de datos, en particular de teléfonos móviles y tarjetas inteligentes de pago, con su capacidad para proporcionar series cronológicas y respuestas a experimentos no planificados, son particularmente atractivas. Pueden ayudar a modelar no sólo un “día medio neutro” sino también la variabilidad entre días y temporadas. Esto, a su vez, debiera proporcionar una mejor comprensión de la robustez de cualquier intervención<sup>1</sup>.
- c. Preferencias (parámetros) y valores estáticos. Es urgente entender cómo las preferencias y valores evolucionan en el tiempo y cómo responden a los diferentes intentos de influenciarlos. El éxito aquí dependerá en gran medida de esfuerzos de investigación multidisciplinarios con contribuciones de ciencias como la Psicología, Sociología, Economía del Comportamiento y Antropología.
- d. Las limitaciones de los datos de sección transversal. Los ya mencionados datos longitudinales de nuevas fuentes no pueden ser tan ricos como las Preferencias o Elecciones Declaradas pero dependen menos del instrumento y más de la explotación de grandes bases de datos. Aún más, debiera ser fecundo investigar el impacto de los “precursores” de las futuras tecnologías: Uber (en sus diferentes servicios), BlaBlaCar, Car2Go: cómo se usan, si generan inducción/supresión de viajes, impacto en los modos tradicionales, etc. Esta investigación es menos teórica y más experimental, requiere nuevas formas de acceso y nuevos métodos para convertir información en conocimiento y generalizar resultados. Otras áreas como la fabricación aditiva, la realidad virtual y aumentada, y la presencia a distancia requieren el monitoreo de los desarrollos alertando a la comunidad de sus retos y oportunidades.
- e. A pesar de los muchos enfoques disponibles para hacer frente a futuros inciertos, es necesario refinarlos y adaptarlos para la práctica diaria. La experiencia directa con estas herramientas ayudará a identificar aquellos que trabajan mejor en diferentes contextos. Esto redundará en mejores herramientas analíticas para manejar la incertidumbre y apoyar decisiones más robustas y flexibles junto a su implementación práctica.

### 6.4 Cabos sueltos

Existen algunos temas que podrían clasificarse de “cabos sueltos”; algunos son muy sencillos pero incluso pueden ayudar a imaginarnos y modelar el impacto de nuevas tecnologías:

- Rara vez modelamos taxis vacíos separadamente de taxis ocupados; igualmente, si usamos un buen modelo de carga rara vez nos preocupamos de los movimientos en vacío. Estos desplazamientos serán más importantes con el advenimiento de los vehículos autónomos y deberíamos preocuparnos desde ya a observarlos e identificar la mejor forma de modelarlos.

<sup>1</sup> Transparencia: soy socio de una empresa europea que explota precisamente este tipo de datos, por lo que este comentario no es totalmente independiente.

- El modelaje actual de desplazamientos en bicicleta e incluso motocicletas, es bastante limitado; es posible imaginar un futuro en que estos medios sean más importantes, como las bicicletas en Amsterdam y Copenhagen y las motos en Bogotá y Hanoi. El rol de la bicicleta pública, eléctrica o no, sigue creciendo y cambiando los patrones de viaje.
- Desarrollar es la mejor forma de incorporar en nuestros modelos la confiabilidad de los tiempos de viaje, no sólo en la evaluación sino también en las respuestas conductuales de elección de modo y ruta. Este es un componente de la des-utilidad de viajar que se hace cada día más importante. Es relativamente fácil de incorporar en la evaluación pero más difícil de hacerlo en la asignación.
- ¿Qué impacto tiene, y cómo modelarlo, el que los usuarios tengan sólo una idea vaga del peaje electrónico que pagan y, en la medida que el pago con tarjeta inteligente se generaliza, la tarifa en transporte público? Existe evidencia de que el pago por medios electrónicos es menos oneroso que el pago en dinero efectivo. Pero este es un tema que no es posible investigar con preferencias declaradas porque el efecto es inconsciente. Por ejemplo, el Prof. Finkelstein (2007) investigó el efecto de cambiar el pago de peajes de dinero efectivo a pago electrónico en Estados Unidos y determinó que este último era entre 20% y 40% menos oneroso; es importante conocer si esto es generalizable.

Otro tema que no ha recibido suficiente atención es el nivel de detalle, la granularidad apropiada, a emplear en cada tipo de modelo. En el caso del transporte de pasajeros se trata de granularidad espacial (número y tamaño de zonas), temporal (cuántos períodos del día y año) y conductual (cuántos aspectos del comportamiento de las personas y qué nivel de detalle en la modelación de vehículos). Hace casi 50 años que Alonso (1968) propuso la idea que dadas las imperfecciones en los datos del año base (y futuro), la granularidad óptima no era necesariamente la más detallada. Zhao y Kockelman (2002) sugieren, con cierta evidencia empírica, que a mayor granularidad y nivel de detalle mayor es la propagación de errores e incertidumbre en un modelo de transporte. Ha habido muy poco progreso desde esa fecha en elucidar esta importante pregunta: el nivel de detalle a adoptar en nuestros modelos predictivos. ¿Vale la pena incluir un modelo complejo de la hora de viaje (macro y micro) o basta con estimar tendencias de peak spreading para proyectar? ¿Cuánto ganamos con modelar en forma desagregada todas las respuestas conductuales, cuánto en modelar en base a actividades en lugar de circuitos (tours) o viajes?

## 7. PROBAR, EVALUAR, REFINAR

Todas estas mejoras deben ser probadas en la práctica, evaluadas y refinadas antes de adoptarlas en forma generalizada. Dada la aceleración del cambio, esta será una tarea permanente e inevitable para enfrentar un futuro fluido. Hay otras cosas que debemos hacer para poder adaptarnos a estos cambios y no sólo a la incertidumbre.

En primer lugar, los modeladores y planificadores son a menudo vistos como remotos, ajenos a las preocupaciones del hombre común, que se siente no escuchado. Esto no es sostenible y debe cambiar. Nuestra práctica debe demostrar que no interpretamos el mundo solo a través de ecuaciones y algoritmos y que el riguroso análisis beneficio costo no es la palabra final. Tenemos que acercarnos más al proceso político y a una planificación compartida; demostrar que entendemos el lenguaje y el ritmo de las carencias, protestas, planes y decisiones. Esto, a su vez, requiere menos tiempo frente a una pantalla y más tiempo caminando por las calles, observando, preguntando y escuchando. El mundo de los modelos parece seguro y menos conflictivo que el mundo real; estamos aprendiendo, con Duterte, Brexit y Trump, que basarse sólo en las reuniones de oficina y la computación puede tener un costo demasiado alto.

Otro cambio urgente es acelerar nuestro aprendizaje. No estamos simplemente entrando en futuros desconocidos; todo apunta a un futuro de cambios acelerados que trastornarán al transporte. Lo que aprendemos de cursos y libros se volverá obsoleto más rápido que en el pasado. Necesitamos aprender a adaptarnos y adquirir nuevas destrezas, conocimientos y experiencias mucho más rápidamente que antes. Hay una necesidad de más y mejores cursos cortos para actualizar nuestras capacidades, tal vez en línea con apoyo de contacto presencial. Éstos deben abarcar no sólo las habilidades analíticas sino también las de relaciones sociales y liderazgo.

El futuro está cerca y es más extraño de lo que pensamos.

## REFERENCIAS

- Alonso, W. (1968). Predicting best with imperfect data. *Journal of the American Institute of Planners*, 34, 248–255.
- Bahamonde-Birke, F. y Ortúzar, J. de D. (2017). Analyzing the continuity of attitudinal and perceptual indicators in hybrid choice models. *Journal of Choice Modelling*.
- Bowman, J.L., Gopinath, D., y Ben-Akiva, M. (2002). Estimating the probability distribution of a travel demand forecast. *Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology*.
- Cherrett, T. y McDonald, M. (2002). Traffic composition during the morning peak period. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2(1), 41 - 55.
- Chorus, C.G. (2014). A generalized random regret minimization model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 68, 224-238.
- Eagleman, D. (2015). *The Brain, the History of You*. Cannongate Books, UK.
- Finkelstein, A. (2007). E-Z tax: Tax salience and tax rates. National Bureau of Economic Research. Working Paper 12924. <http://www.nber.org/papers/w12924>.
- Friedman, T. (2016). Thank You for Being Late. Allen Lane, Londres.
- HM Government (2014). Futures Toolkit: tools for strategic futures for policy-makers and analysts. <https://www.gov.uk/government/publications/futures-toolkit-for-policy-makers-and-analysts>. HMSO, Londres.
- Kahneman, D. (2011). Thinking Fast and Slow. Farrar, Straus y Giroux, Nueva York.
- Lempert, R.J., Popper S.W. y Bankes S.C. (2003) *Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis*. RAND Corporation.
- Lu, Y., Adnan, M., Basak, K., Pereira, F.C., Carrion, C., Saber, V.H., y Ben-Akiva, M.E. (2015) SimMobility mid-term simulator: A state of the art integrated agent based demand and supply model. In *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*.
- New Zeland Ministry of Transport (2016). Adaptive Investment Management: using a real options approach in transport planning. <http://www.transport.govt.nz/assets/Uploads/Our-Work/Documents/MOT-Real-Options.pdf>
- Picornell, M. y Willumsen, L. (2016). Transport models and big data fusion: Lessons from experience. *Proceedings European Transport Conference 2016, Barcelona*.
- Rayer, S. y Smith, S. (2008). An evaluation of subcounty population forecasts in Florida. Paper presented at the Annual Meeting of the Southern Demographic Association. *Bureau of Economic and Business Research, University of Florida*.
- Taleb, N. (2007). The Black Swan. Random House, New York
- Willumsen, L. (2014). Better Traffic and Revenue Forecasting. Maida Vale Press, UK.
- Willumsen, L. y Kohli, S. (2016). Traffic Forecasting and Autonomous Vehicles. *Proceedings European Transport Conference 2016, Barcelona*.
- Zhao, Y. y Kockelman, K. (2002). Propagation of uncertainty through demand models: an exploratory analysis. *Annals of Regional Science*, 36(1),145-163.
- Zmud, J., Ecola, L., Phleps, P. y Feige, I. (2013). *The future of mobility; Scenarios for the United States in 2030*. RAND Corporation Research Report 246.