

## **7. Camioneros infelices y otros problemas algorítmicos**

**Vanderbilt, Tom\***

Traducción a cargo de VACCARI, Gonzalo Vaccari

URL original <http://nautil.us/issue/3/in-transit/unhappy-truckers-and-other-algorithmic-problems>

---

*La optimización del transporte comienza con las matemáticas y termina en el entendimiento del comportamiento humano.*

Cuando Bob Santilli, gerente de proyectos en UPS, fue invitado en 2009 a la clase de 5to grado de su hija en el “día de la profesión”, tuvo que luchar con como describir exactamente lo que hacía para vivir. Eventualmente, decidió mostrarle a la clase un problema de optimización del tipo del que el trataba en el trabajo e impresionar así a los estudiantes con lo complejo que era. El reto era elegir la ruta más eficiente pasando obligatoriamente por seis diferentes paradas, en un escenario suburbano típico. La clase ideó sus propias rutas y luego él comenzó a recogerlas y a analizarlas. Una pequeña niña pensó más allá del problema de la eficiencia. Ella dijo -“Mi mamá nunca iría a la tienda a comprar bienes perecederos (realmente no usó la palabra perecederos, es un agregado mío) dejándolos en el auto el día entero durante su día de trabajo”, contó Santilli.

El comentario de la pequeña refleja un problema matemático básico debajo de la superficie de casi todos los sistemas de transporte moderno, desde los viajes compartidos en moto hasta las grandes aerolíneas pasando por el reparto de comida de los restaurantes. Modelar una versión simplificada de un problema de transporte presenta un grupo de desafíos (algunos pueden ser muy significativos), pero modelar en el mundo real, con contratiempos equivalentes a mezclar helado con el comportamiento habitual del hombre, es donde reside el verdadero problema.

Hay matemáticos, especialistas en investigación de operaciones y ejecutivos corporativos que trabajan para matematizar y optimizar las redes de transporte que interconectan nuestro mundo moderno. Ellos están redescubriendo algunas de nuestras cualidades y capacidades humanas. Se están encontrando con que su trabajo sirve tanto para descubrir el mundo como para cambiarlo.

El problema que Santilli le mostró a la clase de su hija es conocido como el problema del vendedor viajante. Los algoritmos que solucionan estos problemas son muy importantes y los más comúnmente usados en la industria del transporte. En líneas generales, el problema del viajante de comercio plantea lo siguiente: dada una lista de paradas obligatorias ¿cuál es el camino en términos de tiempo-eficiencia que más le conviene para atravesar todos los puntos?

En 1962, por ejemplo, un aviso de Procter & Gamble interpelaba a los lectores con el siguiente reto: había que ayudar a “Toddy and Muldoon” co-estrellas de un programa

televisivo ganador de un Premio Emmy (Car 54, where are you?) a realizar un viaje a través de 33 ciudades de Estados Unidos continental. "Debes planear una ruta para ellos de locación en locación" según las instrucciones "que resulte en la menor cantidad de millas partiendo desde Chicago, Illinois y volviendo a esa misma ciudad". Un matemático obtuvo el premio y regalías por 10 mil dólares. Pero los organizadores del concurso solo pudieron verificar que su solución era la más corta de las existentes y no la ruta más corta de todas las posibles. Eso se debe a que solucionar el problema de las 33 ciudades calculando cada ruta por separado requeriría 28 trillones de años de procesamiento en la súper computadora "129,000-core" del departamento de energía de EUA (que es unas de las más rápidas del mundo). Es por esta razón que William J. Cook, en su libro *In Pursuit of the travelling salesman* caracteriza al problema del viajante de comercio como "el punto de foco de un debate mucho más largo sobre la naturaleza de la complejidad y posibilidades del conocimiento humano". Siempre la escala de complejidad depende de las características de escenario. Un recorrido por seis ciudades implicaría solamente 720 posibles rutas, mientras que un recorrido por 20 ciudades -según un cálculo rápido realizado por Cook con su computadora Mac- más de 100 cuatrillones de posibles rutas.

Modelar en el mundo real, como cuando se intenta mezclar helado con el comportamiento humano habitual, conlleva el verdadero problema.

Hay respuestas a algunos de los problemas del viajante de comercio. Cooke mismo ha producido una aplicación disponible para iPhone que recorre 100 ciudades utilizando programación lineal simple y otras técnicas algorítmicas. Cada pocos años, equipos armados con hardware y programación sofisticados ponen el objetivo en lo más alto. En 2006, por ejemplo, un equipo dirigido por Cook desarrolló un recorrido óptimo a través de 85 900 ciudades. Dadas las limitaciones informáticas mencionadas anteriormente, el experimento no comprueba cada ruta individual. "No existe esperanza de listar en realidad todos los viajes por carretera entre Nueva York y Los Ángeles". En su lugar, casi todo el esfuerzo tecnológico termina demostrando que no hay recorrido más corto que el que se encuentra en la investigación, hasta que la próxima dé con uno más corto. En esencia, hay una respuesta, pero no es una solución. "Por solución", escribe Cook, "nos referimos a un algoritmo, que es una receta paso a paso para la producción de un recorrido óptimo para cualquier ejemplo que arrojemos en él".

Y aparentemente la solución no existe. El problema del viajante de comercio está en el corazón de una serie de preguntas informáticas en curso: si P es igual a NP. En un resumen de contundente elegancia la oficina de prensa del MIT ha escrito "en términos generales, P es un conjunto de problemas relativamente fáciles, NP es un conjunto de problemas muy difíciles, y si son iguales, entonces un gran número de problemas informáticos que parecen ser increíblemente difíciles en realidad son relativamente fáciles" El Instituto Clay de Matemáticas ofrece una recompensa de un millón de dólares a un meta-problema que se cierre como una nave nodriza sobre el desafío de Car 54, where are you?: probar que P es o no es igual a NP.

A estas alturas debería estar claro que no estamos hablando sólo de las necesidades logísticas de los vendedores, incluso el más tenaz de los representantes regionales no piensa en golpear 90000 puertas en un solo viaje. Pero el problema del viajante, y sus primos intelectuales, están lejos de ser solamente teórico; de hecho, están en el corazón invisible de las redes de transporte. Cada vez que quieras ir a alguna parte, o llevar algo a algún lugar piensa que es altamente probable que alguien esté pensando en ese preciso momento cómo hacer que ese proceso sea más eficiente. Los vendedores ambulantes somos todos nosotros.

Un puesto como el de Bob Santilli, donde está en juego la optimización, no existe desde siempre en UPS. Los tiempos solían ser más simples. Hasta la década de 1980, los conductores de UPS solían tener un único objetivo: conseguir que todos los paquetes en su camión fuesen entregados terminado el día. Esos eran conocidos como los "días de tierra". "Lo único que teníamos era la noción y sensibilidad del tiempo de los conductores" señala Santilli. Jeff Winters, encargado de encabezar la investigación en operaciones para UPS, dice que "todo era un problema humano para resolver". Y así tenía que ser. "Diariamente teníamos coches individuales completamente diagramados para los conductores ", dice Santilli (UPS llama a sus furgonetas marrones de reparto "coches"). En efecto, las rutas eran presentadas a través de pasadores en mapas. Al final del día, todo lo que se había presentado se deshacía, y el proceso comenzaba de nuevo.

Pero entonces, en 1982, el mundo cambió: de un día para otro se introdujo el reparto aéreo. De repente, hubo una creciente variedad de compromisos de tiempo; los paquetes tenían que estar en una dirección a las 10:30 de la mañana, en otra al mediodía, y finalmente en otra a las 13:30. Comenzaron a aparecer nuevas limitaciones de tiempo para las camionetas de reparto también. Ya no era sólo un problema de optimización de ruta, comenzó a ser también un problema de optimización de programación. En UPS comenzaron a sospechar que no estaban optimizando de la mejor manera las cosas. Uno se imaginará que dentro de esas paredes no existe mayor pecado. Incluso en el interior de las furgonetas hay un riguroso algoritmo y código de desempeño; la próxima vez que reciba un paquete, busque un código de tres letras, como "PTI (RDL)". Eso significa "puerta trasera izquierda", y el fin es que el conductor dé el menor número de pasos posible para localizar el paquete. En una entrega típica, según dijo Santilli, cuando el conductor detiene la camioneta, "cuenta con nueve segundos para seleccionar un paquete y salir de allí". Por su tono parecería ser que estaba hablando de un miembro de una unidad de desactivación de bombas.

En 1986, UPS adquirió Roadnet, una empresa de logística especializada en optimizar rutas para las empresas como, por ejemplo; distribuidores de cerveza. Había un problema: los controladores de Roadnet trabajaban por lo general siempre con la misma ruta y con pocas limitaciones de tiempo. Fue en aquel momento que UPS comenzó lo que se conocería como el Proyecto ORION (Optimización Integrada de Camino y Navegación), un proyecto que abarca muchos años y muchos millones de dólares y cuyos esfuerzos algorítmicos comienzan a dar resultados en su flota de casi 58.000 camiones. El núcleo

sobre el que se desarrolló ORION fue el problema del viajante de comercio. Cada camión de UPS hace alrededor de 130 paradas por día -es esencialmente el problema del viajante de comercio pero sobre ruedas.

La promesa de ORION fue y sigue siendo clara: Por cada milla menos, por conductor, por año, UPS ahorra \$30 millones de dólares. La matemática requerida para dar con alguna solución al problema del viajante de comercio, o al menos aproximarse, es clara. Pero al intentar aplicar esta matemática al mundo real de las entregas y los conductores, los directivos de UPS necesitaron aprender que el transporte se trata tanto de las personas y las restricciones únicas que éstas imponen, como de la negociación entre las intersecciones y las zonas horarias. Como Jeff Winters me dijo, "Pensábamos que debía ser muy fácil elaborar la ruta más óptima, darla al conductor y olvidarse del asunto. Pensamos que tomaría un año..." Eso fue hace una más de una década.

Cuando el conductor detiene la camioneta; "cuenta con nueve segundos para tomar el paquete y salir de allí.

Por un lado, los seres humanos son irracionales y costumbristas. Pero cuando se interrumpen los hábitos, suceden cosas interesantes. Después del colapso del puente I-35 en Minnesota, por ejemplo, el número de viajeros que cruzaban el río, como es lógico, se redujo; pero incluso después de que se reconstruyera el puente, ha señalado el investigador David Levinson, los niveles de tráfico nunca volvieron a alcanzar los niveles anteriores. Los hábitos pueden ser particularmente problemáticos para las personas a la hora de planificar rutas de viaje óptimas y estables. Sucede con los autobuses públicos, como ha sido señalado por Akshay Vij y Joan Walker de la Universidad de California en su artículo titulado, "Usted puede llevar viajeros a la parada de autobús, pero no puedes hacerlos viajar". "Los modelos tradicionales de demanda de viajes suponen que los individuos son conscientes de la amplia gama de alternativas a su disposición, el artículo sostiene que: "las elecciones conscientes se realizan con base en un equilibrio entre los costos y los beneficios percibidos". Pero eso no es necesariamente así.

Las personas también son emocionales, y resulta que un camionero infeliz puede traer problemas. Hay modelos de creación de ruta modernos que incorporan factores tales como si un conductor de camión es feliz o no, algo que incluso él puede desconocer de sí mismo. Por ejemplo, una compañía de camiones importante que se negó a dar el nombre hace "análisis predictivo" sobre cuándo los conductores se encuentran en mayor riesgo de verse involucrados en accidentes. La información ya no se limita a los excesos de velocidad en el camión, acontecimientos especiales, dificultades de frenado, cambios rápidos de carril, etc. Sino que comienza a contemplar datos de la vida del conductor. "En realidad, hemos incorporado en el modelo una serie de indicadores que podrían ser sinónimos de la insatisfacción", dijo un empleado familiarizado con el programa.

Estos podría ser: un cambio en la paga que el camionero lleva a casa, un evento de la vida como una muerte en la familia o un divorcio, o algo tan sutil como un conductor a quien se

le ha modificado repentinamente la hora de inicio del trabajo a la mañana. El análisis toma en cuenta todo lo que los ingenieros de la compañía pueden pensar, y luego se fija qué factores pueden estar correlacionados con el riesgo de accidente. Los conductores que parecen estar en mayor riesgo son "marcados". Luego otro programa garantiza que el gerente hable con el conductor marcado como "proclive a tener un accidente".

En otras palabras, el problema del viajante se hace considerablemente más complejo cuando además se tiene que pensar en la felicidad del vendedor. Y, no sólo usted tiene que saber cuándo él está infeliz, usted tiene que saber si su modelo de trabajo podría volverlo infeliz. Warren Powell, director del Laboratorio en el Departamento de Investigación de Operaciones e Ingeniería Financiera de la Universidad de Princeton, ha sido responsable de la optimización de empresas de transporte desde Netjets a Burlington Northern. Él recuerda cómo, en la empresa Yellow Freight "estaban haciendo todo con manuales y simplemente no puedes hacer eso". Existen reglas sindicales, prácticas establecidas y hábitos de la industria. Los tractores se pueden almacenar en cualquier lugar, los seres humanos quieren volver a casa por la noche. "Yo dije que íbamos a necesitar un archivo con 2.000 normas. Los camiones son simples; los complicados son los conductores".

En UPS, un programa podría llegar a diseñar y optimizar una gran ruta, pero si se ha violado, por ejemplo, las normas de la Unión de los transportistas, ese trabajo resulta inútil. Por ejemplo, los lapsos de tiempo para descanso y almuerzo necesitan ser incorporados cuando se planea la conducción. Si bien los testimonios filmados de los conductores que vi en UPS fueron muy positivos en su descripción de ORION, es interesante notar que el último contrato entre la empresa y el sindicato incluía una disposición en que se aclara que ningún conductor "puede basarse únicamente en la información recibida a través GPS o cualquier sistema sucesor".

Tal vez la mayor revelación con la que ha contribuido Powell en la consideración del papel que juegan los humanos en los algoritmos es descubrir que los humanos pueden incluso hacerlo mejor. "Tenía ganas de ir a Yellow y estábamos tratando de resolver este problema determinado y no estábamos ni cerca. Me senté a mirar el centro de despacho y pensar, ¿cómo lo hacen? "Fue entonces cuando me di cuenta; los humanos no intentan resolver el horario de toda la semana a la misma vez. Lo hacen por partes. "Nosotros los humanos tenemos formas divertidas de resolver problemas que nadie ha podido incluso articular". Los especialistas en investigación operativa llaman a esto "enfoque heurístico".

Es la misma clase de capacidad humana innata que apareció en la clase de la hija de Santilli. Los alumnos de quinto grado lo resolvieron bien. Tal como James MacGregor y Thomas Ormerod señalan en su estudio, "la tarea del viajante de comercio puede ser comparable a lo que se le presenta naturalmente a la percepción humana cuando se trata de atravesar un número determinado de puntos". Curiosamente, con el uso de este enfoque heurístico, notaron que los sujetos en los experimentos eran "excepcionalmente buenos optimizando los recorridos". En otros experimentos, cuando a los sujetos se les

mostraron imágenes de recorridos óptimos, tendieron a pensar que se trataba de recorridos más estéticos que funcionales.

Los modelos de planeamiento de rutas modernos incorporan el factor de si un conductor es feliz o no, algo que puede incluso el desconocer de sí mismo.

Por supuesto, incluso los cimientos del pensamiento humano se mueven al intentar comprender el comportamiento de otros seres humanos. Powell me mostró un ejercicio que se exhibe a veces en salas llenas de ejecutivos de empresas de transporte. "Tengo una carga que ha de ser recogida. Tengo un conductor a 60 millas de distancia. Todo lo que tengo que hacer es despacharlo y todo estará listo. Tengo otro conductor que, una vez que descargue, estará a aproximadamente 30 millas de distancia, debería llegar para la media tarde, entonces; "¿conviene tomar lo seguro, incluso si se consumen más millas? ¿O es mejor tomar el riesgo de un viaje más corto, lo que podría reducir considerablemente el tiempo? Cuando se les solicita a los ejecutivos que levanten la mano por la mejor opción, la respuesta suele ser mixta. "El Conductor B ahorra millas. Pero no ha llegado todavía ¿y cuál es el problema? pregunta uno bajando la voz en un susurro casi cómplice. "Diferentes personas responderán de manera diferente. Incluso dirán: "Yo confío en el conductor, sé que lo logrará". Bienvenidos a la toma de decisiones en el mundo real.

Al final, el mejor enfoque resulta ser sobre la base de lo que la gente ya está haciendo. Cuando Powell trabajó como consultor para trasportes Schneider hace ya una década, curiosamente, no tenía una visión idealizada de lo que Schneider podía ser. Él esencialmente dejó a Schneider como estaba. "Nuestro objetivo no era conseguir la mejor solución", dice Ted Gifford, un especialista en la investigación de operaciones de toda la vida en Schneider. "Nuestro objetivo era tratar de simular lo que los planificadores del mundo real realmente estaban haciendo". Cuando le sugerí a Gifford que él estaba tratando de entender el mundo real matemáticamente contestó que estaba de acuerdo, pero añadió: "la palabra entender es demasiado fuerte, estamos felices de obtener resultados positivos".

En UPS comenzar a tomar en cuenta el comportamiento humano de una manera cuantitativa fue clave. "Según la vieja escuela de los negocios", dice Winters de UPS, "premiábamos a los conductores responsables, siguiéndoles de cerca el rastro" -UPS contabilizan por ruta. Dice, a los conductores no se les daba orientación, y lo que es peor, eran penalizados en caso de no cumplir con los objetivos- "entrenar y aconsejar" -ante retrasos, o "perdidas de rastro." Era una "regla tonta," una resaca de legado del pensamiento heredado desde los orígenes de la empresa cuando era un servicio de entrega por tierra solamente. "Lo que había que hacer" según Winters, "era construir la ruta solo con transporte aéreo, y luego ver lo que se debe hacer por tierra y calcular los costosos que se pueden eliminar sin la necesidad de volver a esa zona. Ese era el gran problema de negocios en su cabeza".

La optimización del transporte, siempre es difícil, y la comprensión de cómo ponerlo en práctica puede ser aún más difícil. "Una de las cosas más difíciles de enseñar a un grupo de análisis matemático", me dijo Santilli "es la diferencia entre una solución viable y una solución implementable. Viable sólo significa que cumple con todas las restricciones de matemáticas. Pero implementable implica algo que el ser humano pueda llevar a cabo".

Afortunadamente la optimización ha tenido éxito llegando incluso muy lejos. Modelar rutas se ha vuelto mucho más sofisticado, un desarrollo que Powell describe en la obra de su vida, un libro llamado *Approximate Dynamic Programming: Solving the Curses of Dimensionality*. "Íbamos a la literatura matemática, y eran todos los problemas como de juguete. Eso fue, literalmente, unos 20 años antes de que pudiera ir a una pizarra y decir ¿sabes qué? de hecho puedo hasta anotarme el problema. "El desarrollo de rutas por mapeo ha mejorado dramáticamente. Hace algunas décadas, el departamento de servicios de mapeo de UPS era acosado por las llamadas de personas que preguntaban si realmente estaban donde los datos de UPS les decían que supuestamente estaban. Los primeros mapas GPS también eran defectuosos. "En el principio llegábamos a algunos malos resultados", dice Ranga Nuggehalli uno de los principales científicos de UPS, "no sabíamos si era porque el algoritmo era malo, o si nuestros datos estaban mal. "Allí se encuentra un punto de quiebre.

El volumen de datos necesario para un correcto seguimiento ha sido desarrollado. "Delivery Information Acquisition Device" de UPS o DIAD, la súper computadora en la que usted, sin duda, encontraría su nombre, crea una arquitectura de datos en la que se basan todas las estrategias de optimización.

El resultado final ha sido una mejora lenta pero constante. Powell y Santilli apuntan a sus propias historias de éxito. Yellow Freight solía tener unas 700 "terminales", dice Powell, donde la carga se transfería directamente a sus clientes finales. Powell desarrolló un modelo que conllevaba un mensaje contradictorio: Teniendo tantas terminales los camiones estaban viajando demasiado lejos para llegar al cliente. Hoy, dice, Yellow Freight tiene 400 terminales. "Ese es el número correcto". En cuanto a UPS, Santilli señala que un conductor en Gettysburg, Pa. Está manejando casi 25 millas menos por día, tomando como referencia la ruta original de entre 150 y 126 millas. Todo con el mismo número de paradas.

Estamos volviéndonos cada vez más inteligentes en mover las cosas de lugar. Pero la historia menos evidente, subyacente, es que estamos dando con la idea de cómo controlar el elemento humano en el transporte. Así mientras conocemos a los algoritmos, los algoritmos también están llegando a conocernos.

***\*Tom Vanderbilt escribe sobre diseño, tecnología, ciencia y cultura, entre otros temas. Su libro más reciente es The New York Times bestseller Traffic: Why We Drive the Way We Do (and What It Says About Us).***