

El arte de planificar rutas y repartos

■ Alicia de Lara

La profesora del CIO Mercedes Landete describe la utilidad de la optimización combinatoria y sus múltiples aplicaciones a la vida diaria

Dada una lista de ciudades y las distancias entre cada par de ellas, ¿cuál es la ruta más corta posible para que el viajante de comercio visite una vez cada ciudad y al finalizar regrese al punto de partida? Este problema (TSP por sus siglas en inglés: Travelling Salesman Problem) pertenece a la rama de las matemáticas aplicadas, conocida como Optimización Combinatoria, muy importante en la investigación de operaciones y en la ciencia de la computación. El TSP fue formulado por primera vez en 1930 y es uno de los casos de optimización más estudiados.

La profesora del Centro de Investigación Operativa de la Universidad Miguel Hernández (UMH) de Elche Mercedes Landete define los problemas de optimización como aquellos que se pueden describir con variables matemáticas, en los que hay una función muy clara que se quiere minimizar o maximizar (la distancia total recorrida), además de unas condiciones que se tienen que cumplir (en este caso que el viajante visite todas las ciudades al menos una vez y regrese al punto de origen). En este tipo de problemas puede haber un conjunto de soluciones finito: por ejemplo, en el caso clásico descrito del viajante de comercio, donde dependiendo de las ciudades se establecerán una serie de posibles rutas determinadas. Pero también puede que se trate de un conjunto de soluciones infinitas si, en el enunciado, el viajante no solo debe visitar las localizaciones establecidas, sino que también necesita transportar mercancías, de manera que entra en juego la variable del peso que puede cargar el camión de reparto de acuerdo a su espacio.

Asimismo, las variables también pueden ser de otro tipo. Por ejemplo, puede tratarse del horario, si se piensa en un escenario en el que el vehículo debe cambiar de conductor cada cierto número de horas al volante. Y todavía se puede complicar más si a esta circunstancia de conductores que solo pueden estar al volante un cierto número de horas se le añade que, además, los trabajadores deban terminar su jornada cerca de casa. En este caso, se trata de un problema similar al que se enfrentan los matemáticos que deben, a través de algoritmos, establecer las diferentes rutas de vuelo en un aeropuerto.

El algoritmo de reparto es el conjunto de órdenes consecutivas que lleva a resolver el problema y pueden ser exactos o inexactos o heurísticos. "Si por ejemplo estamos hablando de una solución de vuelos en la que vas a necesitar una hora para calcular todas las opciones, pero solo se dispone de dos minutos, entonces basta con obtener soluciones que sean lo suficientemente buenas", explica Landete. Y añade: "Puede que lo óptimo sea que todos los pilotos trabajen 6 horas y 36 minutos y vuelvan a sus hogares. Pero para encontrar la solución en la que todos trabajen 6 horas y 36 minutos quizá se necesite mucho tiempo y como los pilotos se ajustan a trabajar menos de 8 horas, en menos tiempo puedo encontrar esa solución que, no es exacta, pero sí buena y rápida", puntualiza. Esta solución recibe el nombre de heurística.

Los algoritmos de optimización combinatoria resuelven este tipo de problemas a través de la exploración de un gran conjunto de soluciones posibles. Como señala Landete, la forma en la que surgen soluciones para estos problemas de optimización es a través de la programación lineal (carece de exponentes y raíces cuadradas). Cuando el problema es posible representarlo de esa manera, los mé-

todos para resolverlo resultan más sencillos. "Así que nuestro objetivo será siempre intentar escribirlo como un problema de optimización lineal, para usar el método de resolución más cómodo", señala la experta.

El algoritmo de reparto es el conjunto de órdenes consecutivas que lleva a resolver el problema

A su vez, los problemas de optimización se sirven de la teoría de grafos y de la teoría de poliedros para representar el conjunto de soluciones posibles. Los grafos son conjuntos de objetos, llamados vértices o nodos, unidos por aristas que permiten representar relaciones binarias entre elementos de un conjunto. En los poliedros son los planos los que representan cada condición dada. Landete señala: "Si pensamos en el poliedro como una caja de soluciones y en el algoritmo como el conjunto de instrucciones dadas, podemos imaginar cómo el algoritmo se aproxima al poliedro escaneando los diferentes planos hasta alcanzarlo. Y en ese trabajo es donde el algoritmo consume el mayor tiempo: se aproxima muy despacio al poliedro para no pasárselo. Y una vez que lo al-

canza, podemos decir que ya ha encontrado el conjunto de soluciones", todo esto explicado de una manera muy básica, matiza la experta.

Google Maps

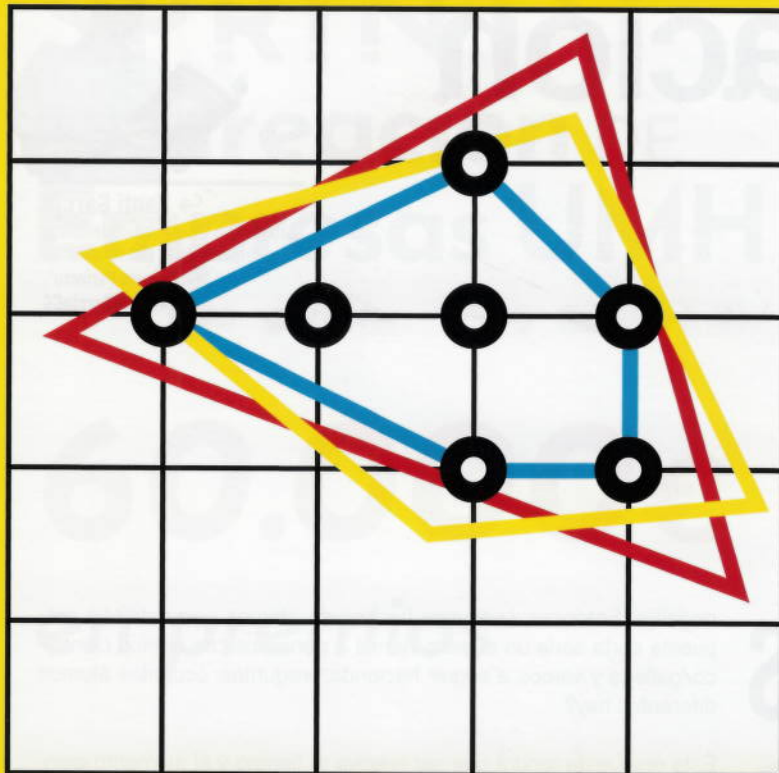
Un ejemplo de aplicación diaria de este tipo de problemas se encuentra en Google Maps, que permite calcular una distancia entre dos puntos y atiende a diferentes variables de acuerdo a cómo se quiere recorrer la ruta, si de la manera más rápida o de la manera más barata, sin pasar por peajes. Se trata de un ejemplo en el que el usuario tiene que tomar decisiones que influyen en la solución. Si se atiende al conjunto de soluciones posibles en el escenario de las rutas entre ciudades, lo lógico a priori en lugar de empezar por una solución al azar, parece ser ir del punto inicial al punto más cercano y así sucesivamente. Según la experta, al actuar de esta forma se puede alcanzar una buena solución inicial y a partir de ahí se sigue perfeccionando el algoritmo para llegar al conjunto de resultados óptimos. A medida que aumenta el número de ciudades que se deben visitar, aumentan exponencialmente las permutaciones posibles (cada ruta es una permutación). Por ejemplo, para 30 ciudades hay una enorme cantidad de rutas posibles y de ahí deriva la importancia de que existan técnicas de optimización.

Variaciones del problema

El problema del viajante se complica a medida que se añaden condiciones. "Imagínate que voy recogiendo cualquier producto, pongamos leche, vino y huevos y que, a su vez, los voy entregando a otros sitios porque tengo mi pequeña cooperativa de granja y la ruta la tengo calculada para que sea la más óptima: la más barata y la más rápida. Pero de pronto, me lla-



Mercedes Landete
Profesora del Centro de Investigación Operativa UMH



Travelest, optimizando el modo de viajar

Travelest es una aplicación móvil que proporciona la mejor manera de organizar una ruta turística urbana, gracias al algoritmo de optimización desarrollado por los estudiantes del Grado en Estadística Empresarial de la UMH Alejandro Linde, Vladimir Strilets y Alejandro López. En función de los parámetros especificados por el usuario, calcula una ruta que optimiza el número de lugares visitados con el fin de mejorar la experiencia turística en una ciudad. El trayecto se ajusta al tiempo del que el usuario dispone para la visita, sus preferencias y el lugar de inicio y fin de la ruta. La idea nació tras ser uno de los proyectos ganadores de la 5ª edición del Sprint de Creación de Empresas, el programa para emprendedores del Parque Científico de la UMH. También fueron galardonados en el concurso internacional Plataforma Talento, impulsado por Volkswagen y EL PAÍS, y con el premio internacional Treelogic 2017 al Espíritu Innovador.

Aproximación a un grafo utilizado para resolver problemas de optimización

ma por teléfono uno de mis clientes habituales y me dice que no pase, que tiene de todo. Entonces la ruta que era la más económica y adecuada se me desmonta porque pasaba por su pueblo”, describe Landete, quien también explica que este tipo de circunstancias se dan y se contemplan en el algoritmo atendiendo a la fiabilidad de cada cliente. “Este cliente 5 veces de cada 100 me llama para decir que no quiere nada. Es un cliente fiable, pero hay otros clientes que casi el 50% de los días me llaman y me dicen que no quieren nada. Como cada cliente tiene su fiabilidad, en lugar de elegir la mejor ruta como si todos fueran fiables al 100%, elijo la mejor ruta incluyendo las fiabilidades en la ecuación”, puntualiza la matemática.

“Los drones suponen un desafío, ya no hace falta tener en cuenta las vías establecidas”, explica Landete

El diseño de rutas para camiones que recogen basura en Vitoria, en los que se debe tener en cuenta el sentido de la dirección, ya que los contenedores están a uno u otro lado; o la

planificación de rutas para máquinas quitanieves en las calzadas de una ciudad canadiense son algunos de los proyectos de investigación en los que ha participado el grupo de Landete. Dos casos en los que no solo se tiene en cuenta la distancia, sino también el sentido, ya que a las máquinas quitanieves les cuesta un esfuerzo determinado en términos de combustible hacer el barrido de nieve de una carretera, mientras que regresar por la misma vía, ya sin nieve, es menos costoso. Condiciones que de nuevo debe contemplar el algoritmo.

Otras aplicaciones

Otro caso de aplicación real es el de los contadores de la luz. En la actualidad, se están incorporando dispositivos en la red para que no sea necesario que físicamente alguien entre en la portería para ver lo que se ha consumido en luz en cada edificio. “Lo que se hace es planificar rutas que están lo suficientemente cerca de los nodos que emiten la información, intentando abarcar el área de comunicación de las antenas”, subraya la profesora. Y continuando con la planificación de rutas, Landete explica que los drones suponen un gran desafío porque “con ellos ya no hace falta tener en cuenta las vías establecidas, que constituyen un problema importante, ya que se desplazan por un espacio aéreo, tal y como se están utilizando en Estados Unidos para distribuir productos relacionados con parafarmacia”.

Las técnicas de optimización también se aplican en la secuenciación de ADN ya que, como en los casos anteriores, en este ámbito también entran en juego multitud de variables a la hora de abordar combinaciones de genes que tienen que cumplir unas determinadas características. De nuevo esas característi-

cas se calculan en términos de restricciones y se resuelve el problema. “Lo que puede suceder en estos casos es que, al tratarse de un número de posibilidades muy grande, se necesita una gran potencia de cálculo por parte de los ordenadores que estén destinados al proyecto, por este motivo en estos casos se suele utilizar lo que se conoce como programación en paralelo”, apunta la experta. Landete añade que son los matemáticos teóricos quienes deciden cómo se puede dividir el problema para que cada unidad de procesamiento (CPU) se dedique a resolver una parte, de manera que todos los ordenadores implicados van a trabajar para resolver el mismo dilema.

Las aplicaciones de este tipo de técnicas a la vida diaria son infinitas y uno de los ejemplos más llamativos quizá sea el de la compañía Amazon, que debe decidir entre un conjunto de empresas de paquetería finito dónde va a colocar los productos para ser distribuidos. A su vez, la empresa de comercio electrónico estipula los precios distintos según lo que le compensa, si el cliente quiere que el producto le llegue a casa, le cuesta un precio, si va a un punto de recogida, el coste es inferior. “Amazon prefiere las empresas colaboradoras porque a un punto de recogida puede llevar varios paquetes a la vez, mientras que, si no tiene que pagar al repartidor para que vaya a un montón de domicilios, de ahí el incremento. Así que de acuerdo a las variables que necesita contemplar, Amazon, como otras muchas empresas y distribuidoras, también, está aplicando todas estas técnicas de optimización, aunque en esta ocasión enfocadas a problemas de localización”, describe la profesora ■