

## TEMAS CURSO MODELACIÓN MATEMÁTICA

ALEJANDRO MAASS Y JAIME SAN MARTÍN

1. TEMA 1: ESTIMAR LA DEMANDA FUTURA DE USO CAMAS POR PACIENTES CON INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS (IRA) PARA EL HOSPITAL LUIS CALVO MACKENNA DURANTE EL INVIERNO DEL 2022 MEDIANTE EL USO DE MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS COMPARTIMENTARLES.

El Hospital Dr. Luis Calvo Mackenna (HLCM) es un centro docente asistencial pediátrico público autogestionado, fundado en 1942, que presta diversos servicios de consulta de especialidades, de urgencia y de hospitalización quirúrgica y médica para la Red Oriente y para todo el país en patologías de alta complejidad, atendiendo anualmente un promedio de 9 mil niñas y niños hospitalizados. Cada invierno, el Ministerio de Salud asigna recursos para la implementación de la campaña de invierno, orientada a la contratación de recursos humanos, reacondicionamiento de camas, y otros servicios, para el fortalecimiento de las áreas relativas a enfermedades respiratorias. Con el objetivo de implementar la campaña de invierno, el hospital debe decidir cuándo y cómo disponer de los recursos, reconvertir camas, y otros servicios para las hospitalizaciones respiratorias. En este contexto, anualmente surge el problema de estimar la curva de demanda de camas por infecciones respiratorias agudas (IRA), y principalmente estimar la fecha de su peak. La estimación histórica del peak se ha ya realizado, como parte de una primera parte de este proyecto, mediante el estudio de series de tiempo del virus Sincitial, al ser el virus que históricamente ha tenido mayor circulación en el país en épocas de invierno. Es una serie muy estable y bien entendida. Sin embargo, la aparición del Covid en los dos últimos años ha hecho que esta serie tenga menos validez ya que el brote de Sincitial, y de otras IRA, ha sido prácticamente inexistente en presencia del Covid. Lo anterior hace muy difícil usar esta información prever su comportamiento durante el año 2022. Producto de esto se propone crear modelos epidemiológicos compartimentales para el virus Sincitial en la Región Metropolitana y, en caso que sea necesario, otras IRA, de manera de tener modelos más robustos que las series de tiempo ya creadas. Esto permitiría monitorear el crecimiento de IRAs distintas de Covid durante el año 2022, incluso en el escenario que este último siga presente, y poder así proveer al HLCM de herramientas de gestión para planificar su campaña de invierno 2022.

Responsable: Héctor Ramírez (CMM/DIM)

## 2. TEMA 2: ARBOLES FILOGENÉTICOS ESTELARES-COMPARAR ÁRBOLES FILOGENÉTICOS CON DATOS ASTRONÓMICOS

Un árbol es una estructura matemática que representa similitudes y diferencias entre varias entidades. Árboles filogenéticos representan estas similitudes y diferencias entre objetos que están relacionados a través de la herencia. El patrón de los árboles filogenéticos permite entender los procesos de herencia y su entorno. Estrellas están conectadas por su composición química. A través de complejos procesos de nucleosíntesis que ocurren en sus interiores al vivir, nuevos elementos químicos son donados al espacio al morir y heredados después por nuevas estrellas que se forman de ese material sintetizado. Cada elemento se produce de diferente forma, tiempo y cantidad. Si tenemos una muestra química de estrellas, podemos en principio construir arboles filogenéticos y entender los procesos de herencia entre ellas y así su entorno de evolución. Sin embargo, considerando que las mediciones químicas en estrellas tienen incertidumbres, definir similitudes y diferencias puede ser un gran desafío. Objetivo: considerar diferentes formas de comparar mediciones químicas estelares considerando las incertidumbres asociadas y buscar formas de optimizar arboles filogenéticos robustos que permitan estudiar los procesos de herencia en el Universo. Una idea es jugar con diferentes formas de definir distancias químicas, o probar diferentes abundancias químicas o combinaciones de ellas para ir definiendo qué es más informativo.

Responsables: Jaime San Martín (DIM/CMM) y Paula Jofré (UDP)

## 3. TEMA 3: DESARROLLAR UNA METODOLOGÍA, BASADA EN IMÁGENES DE RADAR SATELITAL, PARA EL MONITOREO DE TURBERAS

Las turberas son humedales en los cuales se ha acumulado materia orgánica en forma de turba. La elevada acidez y la escasez de nutrientes, limitaciones que provocan una velocidad de descomposición de la materia orgánica procedente de su cubierta vegetal muy inferior a la de su generación, por lo que esta materia orgánica incompletamente descompuesta (turba) se acumula de forma continua a lo largo del tiempo. Las turberas son humedales de importancia global, cuya biodiversidad singular le otorga una gran capacidad de almacenar carbono y agua, y sostener especies de flora y fauna únicas las que tiene gran valor ecológico y paisajístico. En América del Sur se encuentra sólo un 4 % de ellas, principalmente en Chile y Argentina, las que están bajo amenazas variadas. El musgo Sphagnum, componente principal de las turberas Patagónicas, es requerido en la industria mundial por su alta capacidad de retención de agua, razón por la cual existe un peligro de sobreexplotación. En las turberas del mundo se encuentran grandes depósitos de carbono. El carbono almacenado en las turberas del mundo representa el 30 % del total disponible en el subsuelo continental, duplica la biomasa forestal mundial y se aproxima al total de la biomasa terrestre. Es equivalente también al 75 % del carbono atmosférico. Por esta razón, son claves en los procesos de retención del Carbono atmosférico. Para poder monitorear su estado a lo largo del tiempo y proceder a sugerir medidas de mitigación y/o corrección es fundamental aprovechar las herramientas de percepción remota, muy en particular las que proveen los satélites de observación de la Tierra. Las imágenes provistas por los satélites tienen la ventaja que no requieren costosas expediciones para acceder a las turberas, pero en las zonas australes de Argentina y Chile la constante presencia de nubes dificulta el uso de las imágenes

de los satélites ópticos, tales como Sentinel-2 o Sentinel-3. Sin embargo, la tecnología de radar, en particular mediante el uso de la Polarimetría de Radar, se ha mostrado que en turberas del Hemisferio Norte es posible caracterizar su extensión e incluso estimar el contenido de humedad y otros parámetros de interés. El objetivo de este trabajo es aplicar estas metodologías, adaptadas y modificadas según se requiera, a las turberas de Argentina y Chile, usando 4 humedales seleccionados y las imágenes de los satélites de radar Sentinel-1 de la constelación Copernicus y SAOCOM de CONAE. Las metodologías básicas utilizar son Polarimetría de radar y/o interferometría.

Herramientas a utilizar: Análisis de Imágenes, Métodos de Clasificación (Bosque Aleatorio, SVM, Redes Neuronales), Análisis de Fourier, programación en Python y R, uso de sistemas de información geográficos QGIS.

Responsables: Jaime Ortega (DIM/CMM) y Florencio Utreras (CMM)

#### 4. TEMA 4: MÉTODOS DE GENERACIÓN DE CLUSTERS GEOGRÁFICOS PARA OBTENER RUTAS FACTIBLES EN EL CVRP

El problema de Ruteo de Vehículos (VRP por sus siglas en inglés) es un ejemplo clásico de cómo el modelamiento matemático puede influir en el mundo real; cada día, más y más organizaciones perciben los beneficios de utilizar sistemas de ruteo para gestionar eficientemente sus entregas y retiros. Sin embargo, a pesar de la amplia literatura existente en esta área, los usuarios todavía reportan problemas que no se han podido resolver de manera satisfactoria. Uno de los más relevantes para SimpliRoute se relaciona con las características de las soluciones que sus usuarios consideran importantes. Estos suelen preferir fuertemente las soluciones en las que las rutas se distribuyen de manera sectorizada en el mapa por sobre las que tienen rutas se cruzan una sobre la otra, incluso cuando esto se logra a costa de generar rutas que recorren mayores distancias.

La preferencia de este tipo de soluciones sugiere una metodología de resolución para el VRP, en la que en una primera etapa se agrupan los puntos a ser ruteados mediante clusters geográficos, y luego dentro de cada uno de estos, se resuelve un TSP. La dificultad principal de este enfoque está en la gran cantidad de factores a considerar simultáneamente al momento de realizar la clusterización. En concreto, el objetivo del estudiante consiste en diseñar, implementar y evaluar la efectividad de un algoritmo de clustering, con el objetivo primario de maximizar la cantidad de puntos ruteados, luego minimizar la cantidad de vehículos utilizados, y en tercer lugar minimizar la distancia total recorrida en la solución, cumpliendo con varias restricciones de factibilidad, como la capacidad máxima de los vehículos, los horarios de llegada a los puntos y las jornadas laborales de los conductores, entre otras.

Responsable: Rodrigo Assar (SimpliRoute)

#### 5. TEMA 5: GENERAR ALERTAS CUANDO LOS CONDUCTORES SE DESVÍEN DE SU RUTA LÓGICA SEGÚN LOS PEDIDOS DEL DÍA

El foco principal de SimpliRoute es resolver el problema de Ruteo de Vehículos (VRP por sus siglas en inglés). En breve, ante el pedido de un cliente generamos rutas que cumplen los requerimientos de visitas que tiene para una jornada haciendo uso de su flota de manera eficiente. Una vez que las rutas son generadas por nuestra plataforma SaaS, editadas en ella y asignadas a los conductores, que los

conductores se apeguen a ella al guiarse por la app mobile no es actualmente observable ni, mucho menos, controlable. Es por ello que buscamos inferir, a partir de datos reales de GPS on-line, cuándo y dónde los conductores están teniendo algún comportamiento anómalo durante la ejecución de su ruta del día, sean paradas no previstas o tránsitos por lugares que implican desvíos de la ruta.

Considerando metodologías geométricas ya conocidas de detección de puntos de parada a partir de geo-localizaciones en vivo, contrastadas con visitas planificadas, junto a análisis de envolturas convexas de dichas visitas, levantaremos un sistema automático de alertas. Como avance hacia dicho sistema de alertas, durante este proyecto se implementará la librería Python de herramientas, incluyendo tests y validando sus resultados en clientes de prueba. El equipo de SimpliRoute estará a cargo de transformarla en una herramienta de revisión interactiva de alertas en tiempo real y disponibilizarla a clientes.

Responsable: Rodrigo Assar (SimpliRoute)

#### 6. TEMA 6: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE RESTRICCIONES VRP RESPECTO A INCLUSIÓN DE VISITAS

El VRP es un problema académico altamente estudiado ( 60 años de historia), este ha sido un problema de interés, porque su aplicación en el mundo real permite ser más eficientes en los procesos logísticos de despacho, permitiendo a las empresas generar ahorros en términos de costos, mantención de vehículos, emisión de CO<sub>2</sub> entre otros. El servicio de SimpliRoute consiste en disponibilizar una plataforma (SaaS) que permite que las diferentes empresas resuelvan el VRP de una forma sencilla y ad hoc a su operación. En este contexto, los clientes (es decir, las empresas) esperan que SimpliRoute siempre les entregue una solución a su problema, sin embargo eso no siempre es posible, debido a que la información que el cliente manda muchas veces genera que el problema -en su totalidad- sea infactible. En estos casos la respuesta de SimpliRoute siempre es más pequeña (no todos las visitas logran quedar en alguna ruta) que lo que el cliente espera, debido a que tiene que lidiar con estas infactibilidades.

Lo que busca este proyecto es poder analizar de antemano dichas infactibilidades para poder hacer un mejor manejo de dichos casos. El camino propuesto consiste en tomar eventos de optimización (instancias) que dejaron muchas visitas fuera de ruta, estudiar cuáles son las restricciones que se violan, caracterizar a las instancias y poder asociar una probabilidad de que ocurra dicha infactibilidad. De esta forma se le podrá informar al usuario el porqué de la menor inserción de visitas.

Responsable: Rodrigo Assar (SimpliRoute)

#### 7. TEMA 7: DIVIDIR Y CONQUISTAR PARA RESOLVER EL BIG-VRP

Uno de los actuales problemas que enfrenta SimpliRoute en términos de ruteo de vehículos, consiste en resolver problemas de gran tamaño (desde 1000 a 30000 nodos). Las principales dificultades de este tipo de ruteo son: Posibilidad de procesar instancias muy grandes; Capacidad de obtener matrices de tiempo sin errores; Incremento substancial del tiempo de resolución.

Para enfrentar estas instancias, hemos estado usando una estrategia de particionamiento de la instancia original en instancias más pequeñas y abordables de manera independiente. Sin embargo, esta estrategia tiene otro tipo de dificultades asociadas a la capacidad de generar una división que cohorte de menor manera el

resultado de la instancia sin dividir. Adicionalmente, la generación de una partición se vuelve más compleja con la adición de restricciones como zonas, habilidades, soluciones parciales, capacidades, ventanas horarias, etc. El objetivo de este trabajo es generar una metodología de particionamiento de instancias grandes que permita obtener buenas soluciones por medio de la unificación de soluciones independientemente obtenidas mediante la resolución de cada parte de la instancia original. Esta metodología, debe ser capaz de considerar la mayoría de restricciones que actualmente requieren los clientes de Simpliroute. Una complejidad adicional que debe atender esta metodología es que no puede conocer la matriz de distancias en calle, es decir, solo puede usar distancias euclidianas. Las instancias generadas por medio de esta metodología pueden ser otro VRP. No hay necesidad de que sea un TSP, pero no pueden interactuar entre ellas mientras son resueltas, es decir, son completamente independientes. Incluso los post procesos deben ser desestimados en función de lograr el mejor resultado posible por medio del mejor particionamiento. Puesto que el tiempo de entrega de una solución a un cliente no puede superar los 15 minutos, un requerimiento básico es que debe ser una metodología veloz.

Responsable: Rodrigo Assar (SimpliRoute)

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MATEMÁTICA Y CENTRO DE MODELAMIENTO MATEMÁTICO,  
UNIVERSIDAD DE CHILE & IRL-CNRS 2807, BEAUCHEF 851, SANTIAGO, CHILE.  
*Email address:* [amaass@dim.uchile.cl](mailto:amaass@dim.uchile.cl), [jsanmart@dim.uchile.cl](mailto:jsanmart@dim.uchile.cl)