

*XV Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións
Santiago de Compostela, 4, 5 e 6 de novembro de 2021*

OPTIMIZACIÓN DO CIRCUITO DE PACIENTES DO HOSPITAL DE DÍA DE ONCOLOXÍA

Adrián González Maestro¹

¹ FIDIS, Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela

RESUMO

O obxectivo deste traballo é usar a información da que dispoñemos dos pacientes do hospital de día de oncoloxía de Santiago para distribuír as distintas citas médicas que teñen en cada unha das súas visitas a dito centro de xeito que minimicemos a duración das estancias na sala de espera do conxunto total dos pacientes e tendo en conta as restricións do circuito.

Palabras e frases chave: Programación matemática, quimioterapia ambulatoria.

1. INTRODUCCIÓN

O hospital de día de oncoloxía de Santiago de Compostela encárgase de ofrecer servizos médicos ambulatorios aos pacientes de cancro que non están hospitalizados. Durante as súas visitas a estes centros, a gran maioría dos pacientes reciben dous servizos médicos: unha revisión oncolóxica e un tratamento de quimioterapia. Ditos servizos están fortemente relacionados, pois a revisión oncolóxica é esencialmente un requisito previo no que compróbase se a saúde do paciente é apta para recibir o tratamento de quimioterapia, que é o obxectivo final da visita ao centro. Entre a realización de ambos servizos médicos, o paciente debe realizar unha estancia na sala de espera do hospital, séndolle imposible abandonar o centro durante ese tempo pois descoñece en que momento será chamado para comezar o seu tratamento de quimioterapia.

De cada paciente coñécese, a priori, o horario no que en teoría vai comezar a súa revisión oncolóxica e canto vai durar o seu tratamento de quimioterapia unha vez este comece. O problema abordado neste traballo é idear un algoritmo que, facendo uso desa información e considerando un conxunto de pacientes dunha xornada laboral concreta, ofrezca un horario estimado para o comezo da quimioterapia de cada un dos pacientes de xeito que se minimicen as esperas dos mesmos entre ditos compromisos. Deste xeito estaríamos conseguindo dous propósitos, por un lado minimizar os tempos mortos dos pacientes entre ambos compromisos médicos, e polo outro darlle ao paciente a tranquilidade de ter unha estimación do horario do comezo do seu tratamento de quimioterapia, a cal lle permitiría incluso abandonar o hospital durante dito período horario.

2. DESCRIPCIÓN DO PROBLEMA

Describiremos con detalle o circuito que experimentan a gran maioría dos pacientes nas súas visitas a este centro. En primeiro lugar rexístrase a súa chegada e realízase unha análise de sangue. Cando os resultados están listos, un oncólogo certifica que estes son correctos e ten unha revisión co paciente. Se todo o relacionado coa saúde do paciente está en orde, ordénase á farmacia a preparación das substancias da quimioterapia do paciente. Cando ditas substancias están listas, lévase ao paciente a un dos sillóns de infusión (no caso de que haxa un libre) e realízase a infusión das substancias. Cando o proceso remata o paciente deixa o sillón e abandona o centro. Representamos este proceso na Figura 1.

Durante todo este proceso existen pasos que non involucran ao paciente, e durante os cales este debe agardar ata o comezo da seguinte etapa. Referímonos ao proceso de estudo da analítica e á



Figura 1: Circuito seguido polos pacientes oncolóxicos

preparación das substancias que serán suministradas ao paciente. Como xa mencionamos anteriormente, a segunda destas etapas de agarda presenta o inconveniente de que o paciente non coñece unha estimación de en que momento comezará o seu tratamento de quimioterapia, o cal dota a este período de espera dunha especial incerteza. Ademais, os tempos de agarda da segunda etapa son sensiblemente maiores que os da primeira. Concretamente, a primeira espera dura normalmente entre 45 e 60 minutos, mentres que a segunda ten un promedio de duración de 110 minutos. Este é o motivo polo cal o algoritmo que deseñemos neste traballo terá por obxectivo organizar os horarios das sesións de quimioterapia.

Agora, antes de definir formalmente un algoritmo que organice os horarios dos pacientes, debemos ter en conta todas as restriccións que debería respetar a solución que dito algoritmo nos ofrezca. No noso caso existen restriccións horarias e de capacidade. En primeiro lugar, con respecto ás restriccións horarias temos que o centro abre ás 8:00 h e pecha ás 22:00 h, o cal implica que ningún tratamento pode comezar antes das oito da mañá nin rematar máis tarde das dez da noite.

Con respecto ás restriccións de capacidade temos que ter en conta que a sala de quimioterapia do hospital conta con 40 sillóns para levar a cabo tratamentos de quimioterapia, o cal implica que non é posible que teñan lugar máis de 40 tratamentos simultaneamente. Tamén existen unha serie de restriccións deste tipo relacionadas coa capacidade de traballo dos enfermeiros. Estes profesionais son os encargados de inicializar os tratamentos dos pacientes e de vixialos durante o seu transcurso. Cada enfermeiro pode encargarse da posta en marcha dun tratamento cada 15 minutos (que é o tempo necesario para desinfectar o sillón, ubicar ao paciente no mesmo, poñerlle a vía, etc) e, simultaneamente, pode vixiar ata un máximo de 16 tratamentos en curso. Esas son as restriccións de capacidade aplicadas a estes profesionais na sala de quimioterapia, sendo o número de enfermeiros dispoñibles un parámetro que evoluciona ao longo da xornada da seguinte forma: están operativos 5 enfermeiros de 8:00 h a 10:00 h, 6 de 10:00 h a 15:00 h, 3 de 15:00 h a 17:00 h e 2 de 17:00 h a 22:00 h.

3. REVISIÓN DA LITERATURA

Existen multitude de traballos abordando labores de optimización e programación en circunstancias similares ás que acabamos de presentar. Algúns exemplos son Heshmat e Eltawil (2019), Turkcan et al. (2012), Liang et al. (2015) ou Hesaraki et al. (2019). Eses dous últimos estudos foron os que inspiraron en maior medida o algoritmo que a continuación presentaremos. En Liang et al resolvíase o problema de planificar as citas dos pacientes que acuden a un centro de oncoloxía tendo como principal obxectivo acadar un esquema horario que evite picos na carga de traballo dos profesionais do centro durante a xornada laboral, mentres que en Hesaraki et al perséguese principalmente reducir as esperas dos pacientes dentro da medida do posible. No que á función obxectivo se refire, o noso algoritmo aseméllase máis ao traballo de Hesaraki et al, se ben o conxunto de restriccións xeradas polo contexto dese estudo difire bastante das que emanan da realidade do hospital de Santiago.

4. IMPLANTACIÓN DO ALGORITMO

Xa coñecemos as restriccións que a solución ao problema debe cumprir, polo tanto procedemos a describir a idea que persigue o algoritmo no seu funcionamento. Posteriormente definirémolo formalmente. Como xa mencionamos anteriormente, de cada paciente coñecemos o momento no que teoricamente comezaría a súa revisión oncolóxica e canto durará o seu tratamento de quimioterapia. O que descoñecemos é canto se retrasará dita revisión oncolóxica, canto durará e canto tempo transcurrirá durante a preparación das substancias para a quimioterapia do paciente. Se

puidésemos saber o valor deses tres tempos para cada paciente, saberíamos a partir de que momento cada paciente estaría listo para recibir o seu tratamento de quimioterapia. Como iso non é posible, o que fixemos foi recoller datos no hospital para esas tres variables sobre o conxunto de pacientes dunha semana de traballo no centro. A idea é analizar os datos recollidos e establecer unha cota superior da suma das tres variables mencionadas para unha porcentaxe razoablemente alta dos pacientes. Deste xeito, se tomamos as horas de inicio teóricas das revisións oncolóxicas dos pacientes e sumámoslles esta cota, obteremos unhas horas a partir das cales deberían estar listos para recibir os seus tratamentos de quimioterapia (nalgún caso pode que non sexa así pero, novamente, a idea é que funcione nun número razoablemente alto de pacientes). Tras analizar os datos recollidos no hospital, decidimos traballar con catro posibles cotas: 210 minutos, 180 minutos, 150 minutos e 120 minutos. A primeira delas é unha cota, en xeral, demasiado conservadora, que sería representativa de días de traballo nos que o fluxo de pacientes fose máis lento do habitual. A segunda é a cota máis realista e adecuada para xornadas de traballo usuais. Finalmente, as cotas de 150 e 120 minutos presupoñen unha velocidade do circuito de pacientes superior ao usual. Serán útiles para comprobar o que poderíamos acadar usando o algoritmo que imos propoñer en escenarios onde a fluidez dos pacientes polas distintas etapas do proceso fose maior do que a día de hoxe é normal. É dicir, serán útiles para comprobar cuan mellores serían as programacións ofrecidas polo algoritmo se o hospital conseguise, dalgunha forma, reducir en 30 ou 60 minutos a suma media dos tempos do retraso da cita co oncólogo, a duración de dita cita e a preparación das substancias para a quimioterapia.

Finalmente, antes de plantexar o modelo é preciso mencionar que, para poder modelar matematicamente a situación precisamos discretizar as 14 horas de traballo dunha xornada laboral deste centro nunha certa cantidade de intervalos finitos de tempo. Facer isto representa unha perda de precisión á hora de traballar co parámetro tempo, e canto máis grandes sexan eses intervalos peor será a solución obtida. Non obstante, se ditos intervalos son excesivamente pequenos, non serían prácticos de cara a crear un esquema organizativo con eles, pois presuporían unha puntualidade das distintas etapas do proceso que en xeral non se cumpriría. Decidimos que unha amplitude de 5 minutos é un bo compromiso entre precisión e manexabilidade dos intervalos. Polo tanto dividimos as 14 horas da xornada laboral en 168 intervalos de 5 minutos. Agora que temos unha estimación para cada paciente de a partires de que momento estará listo para recibir o seu tratamento de quimioterapia e dispoñemos dunha cantidade discreta de intervalos horarios nos cales programar ditos tratamentos, estamos en condicións de levar a cabo o proceso de minimización. Para iso plantexamos o seguinte problema de programación matemática.

5. MODELADO DO PROBLEMA

En primeiro lugar describimos o conxunto de parámetros e variables:

Parámetros:

P : parámetro enteiro que determina o número de pacientes que teñen asignado un tratamento de quimioterapia durante a xornada de traballo.

l_p con $p \in \{1, \dots, P\}$: duración do tratamento do paciente p .

r_p con $p \in \{1, \dots, P\}$: intervalo de tempo a partires do cal o tratamento do paciente p pode comezar.

N : número de enfermeiros traballando durante a xornada.

$Ndisp_t$ con $t \in \{1, \dots, T\}$: número de enfermeiros dispoñibles durante o intervalo horario t .

Variables:

x_{it} con $i \in \{1, \dots, P\}$ e $t \in \{1, \dots, 168\}$: variable binaria que toma o valor 1 se o paciente i comeza o seu tratamento no período horario t .

C_{max} : variable enteira que determina a partires de que franxa horaria non se levarán a cabo máis tratamentos.

λ_1 e λ_2 : dous números reais que usaremos para ponderar na nosa función obxectivo. Cumpren que

$\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ e $\lambda_1, \lambda_2 \in [0,1]$.

Procedemos finalmente a definir formalmente o modelo:

$$\text{minimizar: } \lambda_1 \cdot C_{max} + \lambda_2 \cdot \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^{168} [(t-1-r_p) \cdot x_{p,t}]$$

suxeito a:

$$\sum_{t=1}^{168} x_{p,t} = 1, \quad \forall p \in \{1, \dots, P\} \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^{r_p} x_{p,t} = 0, \quad \forall p \in \{1, \dots, P\} \text{ tal que } r_p > 0 \quad (2)$$

$$C_{max} \leq 168 \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^{168} (t+l_p-1) \cdot x_{p,t} \leq C_{max}, \quad \forall p \in \{1, \dots, P\} \quad (4)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{a=\max\{1, t-l_p+1\}}^t x_{p,a} \leq 40, \quad \forall t \in \{1, \dots, 168\} \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^P x_{p,t} \leq Ndisp_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, 168\} \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^P \left[\sum_{a=\max\{1, t-l_p+1\}}^t x_{p,a} \right] \leq 16 \cdot Ndisp_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, 168\} \quad (7)$$

Como vemos, a función obxectivo é o sumatorio dunha expresión conformada por dous sumandos ponderados. O primeiro deles fai referencia ao momento horario no que remata o derradeiro tratamento. O segundo termo é unha expresión que crece conforme aumenta o tempo transcurrido entre o momento no que o tratamento do paciente puido comezar e o momento no que realmente comezou. Minimizar o primeiro destes sumandos significa escoller un esquema horario que remate a derradeira sesión de quimioterapia o antes posible, mentres que minimizar o segundo implica diminuír a espera total dos pacientes trala revisión co oncolóxico. Ambos obxectivos son desexables, un de cara a mellorar a calidade do servizo para os pacientes e o outro de cara a darlle aos profesionais do centro unha marxe para lidiar cos retrasos que necesariamente danse habitualmente no ámbito sanitario, previndo así a realización de horas de traballo máis alá da hora de peche oficial do centro. A filosofía do hospital é priorizar o benestar dos pacientes, e polo tanto tipicamente tomarase $\lambda_2 \gg \lambda_1$ á hora de executar o modelo.

Comentamos agora o conxunto de restricións. Vemos que a (1) ten por obxectivo asegurar que a todos os pacientes se lles asigna un horario para a sesión de quimioterapia. A (2) impide que un tratamento sexa programado antes de que o paciente estea listo para recibilo. A (3) verifica que a variable C_{max} toma un valor cun horario asociado que non supera as 22:00 h. A (4) impón que todos os tratamentos rematen como moi tarde na hora marcada polo valor que tome a variable C_{max} . A (5) impide que nalgún momento haxa máis de 40 tratamentos en curso. A (6) e a (7) están relacionadas ca capacidade de traballo dos enfermeiros. A primeira delas asegura que en ningún momento da xornada inicialízase un número de tratamentos superior ao número de enfermeiros dispoñibles nese momento. A segunda delas impide que en ningún momento algún enfermeiro teña que supervisar máis de 16 tratamentos simultaneamente.

6. RESULTADOS

A continuación amosamos a Táboa 1. Nela visualizamos os minutos de agarda experimentados polos pacientes co procedemento actual durante a semana na que tomamos datos no hospital e os minutos de agarda que se terían dado aplicando o algoritmo coas cotas anteriormente mencionadas.

	Actualmente	Modelo1	Modelo2	Modelo3	Modelo4	Pacientes
Luns	7.339	9.255	7.900	6.250	4.600	56
Martes	10.382	13.375	11.675	9.275	7.115	72
Mércores	7.351	9.790	8.190	6.360	4.480	61
Xoves	5.906	7.790	6.360	4.860	3.360	50
Venres	5.810	8.075	6.615	5.085	3.555	51
Totais	36.788	48.285	40.740	31.830	23.110	290

Táboa 1: Minutos de espera dos pacientes co procedemento actual e cos distintos escenarios do modelo

Na primeira columna figuran os tempos de espera do procedemento actual, mentres que nas seguintes recolleemos os tempos de agarda resultantes de aplicar o modelo considerando unha cota concreta. Na columna “Modelo 1” consideramos a cota de 210 minutos. A columna “Modelo 2” representa os datos análogos tomando unha marxe de 180 minutos. Na columna “Modelo 3” tómase unha marxe de 150 minutos e, finalmente, na columna “Modelo 4” tómanse 120 minutos de marxe.

Agora observemos como, na Figura 2, apréciase un grafo onde comparamos a evolución durante a xornada laboral do número de tratamentos en curso na sala de quimioterapia co procedemento actual e co algoritmo usando a cota de 120 minutos.

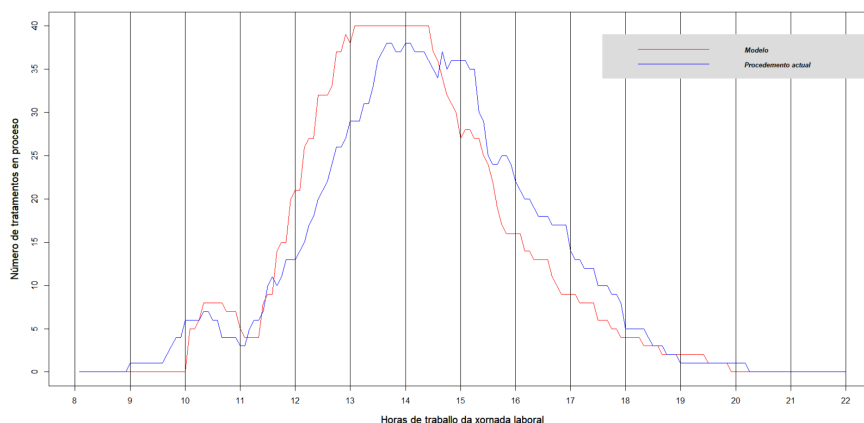


Figura 2: Evolución da carga de traballo dos enfermeiros co procedemento actual e co algoritmo usando a cota de 120 minutos

Como se pode percibir, o noso algoritmo tende a programar máis tratamentos nas horas do mediodía e a aliviar a carga de traballo das horas da tarde. Este feito representa unha ventaxa do uso do algoritmo, dado que ofrece aos profesionais unha maior marxe para lidar con posibles incidencias que poidan retrasar o transcurso normal do fluxo de pacientes. Isto pode traducirse en que os profesionais do centro non teñan que traballar máis alá das 22:00 h (hora oficial de peche) aínda padecendo retrasos inesperados.

7. CONCLUSIÓNS

Se analizamos en detalle a Táboa 1, podemos comprobar que o resultado de aplicar o noso modelo coas cotas de 210 e 180 minutos é aumentar os tempos de agarda dos pacientes a cambio de ofrecerlles de antemán un horario concreto tanto para a súa revisión oncolóxica como para a súa sesión de quimioterapia. Debemos ter en conta que este aumento, no caso da cota de 180 minutos (a máis realista), é de menos de 4000 minutos sobre o conxunto de todos os pacientes da semana

na que se recolleron os datos. Isto representa un aumento na espera en promedio de menos dun cuarto de hora por paciente, o cal non parece demasiado se temos en conta que a espera media por paciente co procedemento actual está próxima ás dúas horas de duración (110 minutos). Polo tanto podería parecer que pagaría a pena aplicar o algoritmo e asumir este incremento na espera para obter uns horarios completamente definidos de antemán. Ademáis, tamén temos que ter en conta que a distribución dos tratamentos obtida co algoritmo ofrece aos profesionais unha maior capacidade de reacción fronte a imprevistos, como mencionamos ao analizar a Figura 2. Por outra parte, tamén parecería interesante explorar a opción de reducir os tempos da segunda etapa de agarda dos pacientes mediante unha inversión razoable de recursos. Como podemos consultar na Táboa 1, só con reducir en 30 minutos a espera media xa poderíamos obter un esquema organizativo completo para os pacientes sen aumentar os tempos de espera respecto da situación actual. Ao contrario, os tempos veríanse reducidos respecto de dita referencia.

REFERENCIAS

- A. F. Hesaraki, N. P. Dellaert, and T. de Kok (2019). Generating outpatient chemotherapy appointment templates with balanced flowtime and makespan. *European Journal of Operational Research* 275: 304-318.
- M. Heshmat and A. Eltawil (2019). Solving operational problems in outpatient chemotherapy clinics using mathematical programming and simulation. *Annals of Operations Research* 298: 289-306.
- B. Liang, A. Turkcan, M. E. Ceyhan and K. Stuart (2015). Improvement of chemotherapy patient flow and scheduling in an outpatient oncology clinic. *International Journal of Production Research* Vol 53, No 24: 7177-7190.
- A. Turkcan, B. Zeng and M. Lawley (2012). Chemotherapy operations planning and scheduling. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering* 2 (1): 31-49.