

## Aplicación de los problemas de reparto a la distribución de tasas de emisiones de $CO_2$ y al reparto de vacunas

Iago Núñez Lugilde<sup>1</sup>, Miguel Ángel Mirás Calvo<sup>2</sup>, Carmen Quinteiro Sandomingo<sup>2</sup>, Estela Sánchez-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidade de Vigo.

<sup>2</sup>Departamento de Matemáticas. Universidade de Vigo.

### RESUMEN

Un problema de reparto surge cuando un recurso limitado tiene que ser dividido entre una serie de agentes, siendo el recurso insuficiente para satisfacer sus demandas. Una regla de reparto es una función que asigna una cantidad de ese recurso a cada agente sin sobrepasar la demanda de ninguno de ellos. Existen diferentes reglas que reflejan premisas de igualdad, justicia o solidaridad, de diferente forma y asignan cantidades beneficiando a un tipo de demandantes u otro. En [9] se puede encontrar un compendio de la literatura generada sobre este tema. En el ámbito teórico, nuevas propiedades, reglas y mecanismos de cálculo han sido estudiadas en los trabajos [1] [3], [4], [5] y [6]. Una nueva regla, *Average of awards*, que se corresponde con la media de una distribución uniforme sobre un politopo convexo (definida en la clase de juegos equilibrados en [2]), ha sido estudiada en detalle en los trabajos antes mencionados. Esta regla destaca, además de por satisfacer propiedades clásicas deseables, por ser derivable respecto al recurso, lo que la dota de importantes ventajas en la resolución de problemas de repartos en distintas etapas. En este trabajo utilizamos los resultados teóricos obtenidos para analizar dos problemas de repartos de máxima actualidad. Para el cálculo de las soluciones propuestas utilizamos un paquete creado por nosotros ([7], [8]).

El primero de los ejemplos está relacionado con el reparto de las tasas de emisiones de  $CO_2$  permitidas entre los países firmantes del Acuerdo de París para frenar el cambio climático. La cantidad límite de emisiones irá disminuyendo cada año y cada región o país demandará enviar a la atmósfera la misma cantidad. Veremos cómo tienen que ir disminuyendo sus emisiones paulatinamente en los próximos años para conseguir el objetivo de dicho acuerdo, estableciendo diferencias entre las distintas formas de repartir. En [4] encontramos la descripción completa de dicho problema.

El segundo ejemplo con el que trabajaremos es el reparto semanal de vacunas anti COVID que tiene que realizar el gobierno español entre las comunidades autónomas. Dependiendo de la regla utilizada, habrá comunidades más beneficiadas que otras. Compararemos los distintos repartos estableciendo diferencias entre los mismos.

## 1. Distribución de tasas de emisiones de $CO_2$

En la vigésimo primera Conferencia Internacional sobre Cambio Climático, celebrada en París en el año 2015, los países integrantes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) llegaron a un pacto histórico para combatir el cambio climático y reducir el calentamiento global. El denominado Acuerdo de París tiene por objetivos mantener el aumento de la temperatura global media por debajo de los dos grados Celsius y esforzarse por limitar ese

aumento a un grado y medio. En el acuerdo se reconoce, además, que de este modo descenderían de manera muy significativa tanto el riesgo como el impacto del cambio climático y se hace patente la necesidad de reducir la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero.

Ahora bien, para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, las emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera tienen que descender un 7.6% cada año hasta el 2030, en el caso de querer alcanzar el límite de los 1.5 grados Celsius.

¿Cómo repartimos entre los países ese descenso del 7.6% anual de las emisiones de dióxido de carbono? Puesto que la cantidad de  $CO_2$  enviada a la atmósfera se puede medir en kilotonnes, una solución puede ser considerar la cuestión como un problema de demandas, estableciendo como cantidad inicial el número de kilotonnes totales que se permite enviar y como demandantes las diferentes regiones del planeta que solicitan seguir emitiendo lo mismo que en el año en curso.

Basándonos en los datos a los que tenemos acceso, supondremos que en el año 2020 se emitieron 32855840 *kt*, por lo que, en el año 2021 se permitirá emitir una cantidad de 30358796.16 *kt*, (7.6% menos que en el año 2020). Por lo tanto, resolveremos un problema de reparto en el que el estado es la cantidad total permitida para el año 2021 y las demandas serán las emisiones efectuadas por cada país durante el año 2020.

Si las regiones respetan lo acordado, se cumplirá el objetivo para el primer año. Sin embargo, el acuerdo es mucho más ambicioso y exige que, en el año 2022, las emisiones sean un 7.6% inferiores a las del año 2021. Por lo tanto, tendremos que resolver otro problema de reparto en el que las demandas siguen siendo las mismas pero la cantidad inicial disponible es ahora menor.

Repetiremos este proceso una y otra vez, resolviendo con las diferentes reglas que se encuentran en la literatura cada uno de los diez problemas de reparto surgidos durante el periodo 2021-2030. Estudiaremos las asignaciones recomendadas por cada una de esas reglas y propondremos la que podría ser la mejor solución para conseguir los objetivos del Acuerdo de París para el año 2030.

## 2. Reparto de vacunas

La crisis sanitaria provocada por la pandemia del coronavirus está dando lugar situaciones en las que, una vez más, hay que repartir un bien escaso entre diferentes demandantes. Se trata, en esta ocasión, del reparto de vacunas entre países. En estos momentos, el número de vacunas existente es insuficiente para cubrir las necesidades de toda la población mundial y, por lo tanto, la decisión de a quién se debe suministrar las dosis que se disponen se revela decisiva para la superación definitiva de la crisis.

Vamos a analizar este problema, que existe en cualquier región del mundo, desde la perspectiva de España. A este país llega cada semana una cierta cantidad de vacunas y estas tienen que ser distribuidas entre las 17 Comunidades Autónomas, Ceuta y Melilla. Estas regiones solicitan al gobierno central las dosis necesarias para poder inmunizar a toda su población y, como no es posible satisfacer todas las exigencias, el gobierno tiene que decidir cuántas vacunas asigna a cada comunidad.

Atacaremos este problema desde dos puntos de vista. En primer lugar, supondremos que cada comunidad demanda una cantidad de vacunas igual a su población. De este modo, cuando las reciban, serán las propias comunidades quienes decidan a quién inmunizar primero. Así pues, cada semana el gobierno central tendrá un problema de reparto donde el recurso  $E$  se corresponderá con la cantidad total de vacunas recibidas y el vector de demandas será un vector con la población todavía no inmunizada de cada comunidad. Dependiendo de la estrategia de vacunación del gobierno central, se aplicará una regla u otra y el proceso finalizará cuando las 19 regiones dispongan de vacunas para toda su población.

En segundo lugar, otra forma de afrontar el problema consiste en tener en cuenta los grupos poblacionales de vacunación preferente. Como es bien sabido, por razones diferentes, hay personas que deben ser vacunadas antes que otras y esta circunstancia puede ser tenida en cuenta a la hora de efectuar el reparto. El primer grupo que se decidió vacunar fueron las personas convivientes en las residencias de la tercera edad. Por lo tanto, en vez de repartir en función de la población total, el estado puede decidir hacer un primer reparto de vacunas en función de esta subpoblación, por lo que cada comunidad demandará la cantidad de vacunas correspondiente al número de personas pertenecientes a ese grupo. Una vez finalizado el proceso de vacunación de ese grupo, se pasará

al segundo grupo en importancia y cada región cambiaría sus peticiones iniciales por unas nuevas, que se corresponderían con la población de este nuevo grupo de vacunación. El proceso continuaría hasta conseguir inmunizar a la totalidad de la ciudadanía. Haciendo el reparto de este modo se evitaría que hubiera comunidades en las que se vacune a gente de entre 30 y 50 años, mientras que en otras todavía se encuentre población anciana sin inmunizar. Un reparto de este tipo beneficiaría a comunidades envejecidas como Galicia.

Una vez planteado el problema desde estos dos puntos de vista lo resolveremos utilizando todas las reglas estudiadas y veremos qué solución es más adecuada para cada situación, mejorando en ciertos aspectos la estrategia de reparto actual del gobierno central.

### 3. Agradecimientos

Este trabajo está subvencionado por el Fondo de Desarrollo Regional Europeo (MTM2017-87197-C3-2-P y ECO2016-75712-P (AEI/FEDER,UE)), y por la Consellería de Cultura, Educación y Ordenación Universitaria, Xunta de Galicia (2016-2019, ED431C 2016/040).

Núñez Lugilde, I. está actualmente contratado como investigador en el grupo SIDOR de la Universidade de Vigo.

### Referencias

- [1] BOSMANS, K. AND L. LAUWERS, Lorenz comparisons of nine rules for the adjudication of conflicting claims. *International Journal of Game Theory* **40**, 791–807, (2011).
- [2] GONZÁLEZ DÍAZ, J. AND SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, E., A natural selection from the core of a TU game: the core-center. *International Journal of Game Theory* **36**, 27–46, (2007).
- [3] MIRÁS CALVO, M.A., QUINTEIRO SANDOMINGO, C., AND SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E., The core-center rule for the bankruptcy problem. Working paper 2020-02, ECOBAS.
- [4] MIRÁS CALVO, M.A., NÚÑEZ LUGILDE, I., QUINTEIRO SANDOMINGO, C., AND SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E., An algorithm to compute the core-center rule of a claims problem with an application to the allocation of CO2 emissions. Working paper, (2020).
- [5] MIRÁS CALVO, M.A., NÚÑEZ LUGILDE, I., QUINTEIRO SANDOMINGO, C., AND SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E., Deviation from proportionality and Lorenz-dominance between the average of awards and the standard rules for claims problems. Working paper 2021-01, ECOBAS.
- [6] MIRÁS CALVO, M.A., NÚÑEZ LUGILDE, I., QUINTEIRO SANDOMINGO, C., AND SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E., The adjusted proportional and the minimal overlap rules restricted to the lower-half, higher-half, and middle domains. Working paper 2021-02, ECOBAS.
- [7] NÚÑEZ LUGILDE, I., MIRÁS CALVO, M.A., QUINTEIRO SANDOMINGO, C., AND SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E., ClaimsProblems: An R package to analyze conflicting claims problems. Preprint, (2021).
- [8] NÚÑEZ LUGILDE, I., MIRÁS CALVO, M.A., QUINTEIRO SANDOMINGO, C. AND SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, E. (2021). ClaimsProblems: Analysis of Conflicting Claims. R package version 0.1.0. <https://cran.r-project.org/package=ClaimsProblems>
- [9] THOMSON, W., How to divide when there isn't enough. From Aristotle, the Talmud, and Maimonides to the axiomatics of resource allocation. Cambridge University Press, (2019).