
MODELO DE DISTRITACIÓN Y ASIGNACIÓN DE ESCAÑOS PARA LA REFORMA AL SISTEMA ELECTORAL CHILENO

RODRIGO REBOLLEDO VEGA, GUSTAVO CHÁVEZ ERRÁZURIZ,
ÓSCAR CORNEJO ZÚÑIGA, CARLOS OBREQUE NÍÑEZ Y
GIULIANI COLUCCIO PIÑONES

RESUMEN

La representatividad del mapa electoral del sistema binominal chileno, siempre fue un tema problemático a la hora de las elecciones. Si bien la reforma del año 2015 aborda en mejor medida las distorsiones que el sistema binominal manifestaba, aún sigue presentando problemas de representatividad población-escaño. Bajo este escenario, se introduce un modelo de

programación matemática que define los distritos y asigna los escaños de la Cámara de Diputados de Chile, obteniendo mejoras significativas en tres indicadores para medir la representatividad. Las implicancias de esta redistribución a nivel de análisis político son importantes, sin embargo, éstas no son consideradas en este trabajo.

La representatividad de un sistema electoral es el diseño del mapa electoral y su respectiva asignación de escaños. Una apropiada representatividad es señal característica de naciones que poseen sanas democracias. Uno de los requisitos fundamentales de la representatividad radica en el diseño del mapa electoral; si el mapa electoral logra reflejar con un aceptable nivel el

principio de ‘una persona, un voto’ (Dahl, 1971) podemos decir entonces que el sistema electoral es representativo.

El sistema electoral que se encargaba de la elección de representantes en el Congreso Chileno era el ‘sistema binominal’. En éste, la representatividad era fuertemente cuestionada, y esto se debía principalmente al mal diseño de su mapa electoral, en el cual se observaban importantes diferencias de población

en sus 60 distritos constituyentes (Navia, 2006), a los cuales se les asignaban dos diputados. Estas diferencias de población tenían fuertes distorsiones en la proporcionalidad del voto, manifestado en sus distritos de baja población, con un poder de voto de hasta ocho veces más fuerte que el voto de una persona de un distrito que agrupaba una alta población. Esta desproporcionalidad en el voto violaba completamente el principio de representatividad

PALABRAS CLAVE / Asignación de Escaños / Distritación Electoral / Malapportionment / Representatividad /

Recibido: 05/06/2021. Modificado: 28/03/2022. Aceptado: 01/04/2022.

Rodrigo Rebolledo Vega. Ingeniero Civil Industrial y Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad de Concepción, Chile. Profesor, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. email: rrebolledo@ucsc.cl.

Gustavo Chávez Errázuriz. Ingeniero Civil Industrial, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. Business Analyst, Acid Labs Chile. e-mail: grchavez@ing.ucsc.cl.

Óscar Cornejo Zúñiga. Ingeniero Matemático y Magíster Mención Matemáticas, Universidad de Concepción, Chile. Doctor en Ciencias de la Ingeniería Mención Modelación Matemática, Universidad de Chile. Doctor en Matemática Aplicada, Université de Bourgogne, Francia. Profesor, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. e-mail: ocornejo@ucsc.cl

Carlos Obreque Niñez. Ingeniero Matemático, Universidad de Concepción, Chile. Magíster en Ciencias mención Computación, Universidad de Chile. Doctor en Ciencias de la Ingeniería Mención Investigación y Gestión de Operaciones, Pontificia Universidad Católica de Chile. Profesor, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad del Bío-Bío, Chile. e-mail: cobreque@ubiobio.cl.

Giuliani Coluccio Piñones (Autor de correspondencia). Ingeniero Civil Industrial, Universidad de Tarapacá, Chile. Magíster en Ciencias de la Administración y Ph.D. en Administración de Empresas, Universidad Adolfo Ibañez, Chile. Profesor, Universidad de Tarapacá (UTA), Chile. Dirección: Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Facultad de Ingeniería, UTA. 18 de setiembre 2222, Arica, Chile. e-mail: gcolucciop@academicos.uta.cl

de un sistema electoral. Durante varios años se intentó poner fin al sistema binominal (Gamboa, 2008) y finalmente en el año 2015 se modificó con la Reforma al Sistema Electoral (Bachelet, 2014). La reforma terminó con el sistema binominal en su totalidad y mejoró varios aspectos demandados desde el nacimiento de éste, con la creación de un nuevo mapa electoral diametralmente distinto al de su antecesor y el uso del sistema proporcional *D'Hondt* para elegir a los diputados y senadores.

En este trabajo, el enfoque para desarrollar un nuevo mapa electoral y su respectiva asignación de escaños es a través de la programación matemática que permite agrupar a todas las comunas de Chile en distritos, y asignarle escaños a cada uno de ellos de una manera más representativa (proporcional) a su población. Este enfoque no se ha manifestado en ninguna propuesta de reforma de (re)distribución, ya que tradicionalmente el problema de distribución en Chile se resuelve mediante habilidades de elaboración de mapas basada en criterios básicos de geografía y una cuestionada proporcionalidad en la fuerza del voto (Valenzuela y Siavelis, 1991; Rojas y Navia, 2005; Guevara, 2007). En este trabajo se destaca principalmente el modelo matemático que permite la conformación de un mapa electoral (redistribución), mejorando los indicadores de representación electoral. Se reconoce que las implicancias de la redistribución a nivel de análisis político son importantes, por ejemplo, para incentivos o modificación, y para beneficio o afectación de partidos, entre otros; quedando éstas fuera del alcance del presente trabajo.

Modelo para la Distribución y Asignación de Escaños

Indicadores de representación electoral

Todos los sistemas electorales, salvo los de distrito único, están sobre o sub-representados. Esto se puede producir porque no es posible matemáticamente, y a veces es muy difícil, que un distrito reciba exactamente una cantidad de escaños proporcional a su población o electores, por imposibilidad geográfica. A veces existen zonas que están en lejanía territorial y no pueden ser agrupadas o presentan escasa población o representatividad política obligada. También existen zonas de muy baja población que obligadamente necesitan escaños adicionales, a pesar de que esto no se justifique por su escasa población.

En las ciencias políticas, 'gerrymandering' se considera cualquier

manipulación injusta en la conformación del mapa electoral, lo que se traduce en generar un efecto determinado sobre los resultados electorales, manipulación que puede beneficiar o perjudicar a un partido político (López Levi, 2006). La forma de manipulación generalmente consiste en la unión y/o división de las unidades que conforman el mapa electoral (distritos, circunscripciones, etc.).

Se puede calcular la representatividad del mapa electoral a través de la diferencia entre el porcentaje de escaños y el porcentaje de población, en todos sus distritos. De la suma de las diferencias distritales se obtiene un indicador de 'malapportionment' (MAP) del sistema electoral. El 'MAP' es una variante del índice de proporcionalidad de Loosemore y Hanby (1971), en el cual, en lugar de calcular la diferencia entre votos y escaños de los partidos, la diferencia se calcula entre los porcentajes de población y de escaños de un distrito (Reynoso, 2004):

$$Map = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^D | \%E_i - \%P_i | \quad (1)$$

donde D : número de distritos; $\%E_i$: porcentaje de escaños de un distrito; $i = 1, \dots, D$; $\%P_i$: porcentaje de población de un distrito; e $i = 1, \dots, D$.

Un segundo indicador es el 'Desvío' (*advantage ratio*), que consiste en calcular para cada distrito la razón entre el porcentaje de escaños y el porcentaje de población, que se multiplica por 100, y al resultado se le resta 100. Los distritos sub-representados obtienen un valor negativo y los sobre-representados uno positivo (Reynoso, 2001).

$$Desv_i = \left[\frac{\%E_i}{\%P_i} * 100 \right] - 100 \quad i = 1, \dots, D \quad (2)$$

Un tercer indicador llamado 'Sobre-representado' es de tipo binario, y toma el valor 1 cuando el distrito está sobre-representado y 0 cuando el distrito está sub-representado (Reynoso, 2001).

Este trabajo utiliza los indicadores antes expuestos para medir la representatividad de la fuerza del voto en los mapas electorales del sistema binominal, de la reforma de 2015 y del propuesto en este trabajo, con la finalidad de compararlos entre sí e identificar cuál es el más representativo en función de la proporcionalidad población-escaño. Varios autores (Samuels y Snyder, 2001; Reynoso, 2002; y Cosano, 2009), señalan que el MAP no debe ser muy alto. Reynoso (2002) dice que no debe ser mayor a 6, pudiendo variar en cada país. Se

puede justificar cierta proporción del elevado MAP porque algunas naciones presenten imposibilidades territoriales o matemáticas, pero no se justifica en su totalidad. El Consejo de la Comisión Europea para la Democracia por el Derecho (comúnmente conocida como la Comisión de Venecia), estableció un código de buenas prácticas en materia electoral, la cual establece las directrices en cuanto a muchos aspectos en estas materias (Comisión de Venecia, 2001). En ella se afirma que cada sistema de gobierno debe determinar una tolerancia de MAP, según la cual la asignación de escaños se puedan llevar a cabo sin producir distorsiones en el principio de 'una persona, un voto'. El MAP permitido depende de cada nación, aunque rara vez debe exceder de 10 y nunca de 15, excepto en circunstancias muy excepcionales como una unidad administrativa demográficamente débil y que es de la misma importancia que otras unidades, a la cual, forzosamente, se le debe otorgar escaños adicionales.

Modelo de Programación Matemática

Este modelo combina dos problemáticas antes estudiadas como es la (re)distribución (Weaver y Hess, 1963; Bozkaya *et al.* 2011; Tasnádi, 2011) y la asignación de escaños, en donde, una vez definidos los distritos, se busca asignar los escaños a cada distrito con objetivos como pueden ser la representatividad del voto de la población (Girón González-Torre y Bernardo Herranz, 2007). El procedimiento estándar de problema de distribución es definir el área de interés y las unidades básicas indivisibles. Una comuna es la división administrativa menor y básica indivisible de Chile. Se define I como la cantidad de comunas. Cada comuna se debe asignar a uno y solo uno de los distritos. El área de interés contiene un total de D distritos. Un plan de distribución es el conjunto de D distritos que abarcan el área de interés.

La contigüidad y la compacidad son esenciales a la hora de la construcción de distritos. La primera se refiere a que no se pueden crear distritos con comunas desconectadas entre sí, y la segunda en que se deben crear formas regulares de distritos. El modelo propuesto aquí no las garantiza explícitamente, pero utiliza la compacidad como una herramienta para promover la contigüidad. Es extraño que la contigüidad no se cumpla; si es el caso, se han de realizar las respectivas correcciones posteriores a la ejecución del modelo.

Cada comuna tiene una población p_i ; $i = 1, \dots, I$ y una distancia a

cada una de las otras comunas d_{ij} $i=1, \dots, I$; $j=1, \dots, J$ donde J es el número de posibles centros de distrito, el cual está compuesto por las mismas comunas que serán seleccionadas como centros de distrito en este caso. Las distancias d_{ij} son medidas a partir de sus respectivos centroides, a través del sistema de información geográfico ArcGis 10.3 (ESRI, 2012). ArcGis genera los centroides de todas las comunas para después calcular las distancias entre ellas. Se define el conjunto R como los pares de comunas que pertenecen a una misma región debido a que no se pueden crear distritos con comunas de distintas regiones, S es el número de escaños a asignar, y P es la población total del país. S_r es el número de escaños a asignar en la región $r=I, II, \dots, XV$, valores que se determinan por un modelo previo de 'Restos Mayores' (Girón González-Torre y Bernardo Herranz, 2007), que busca minimizar la máxima diferencia entre los escaños que le corresponden de forma proporcional a la región y los asignados.

Se define la variable x_{ij} ; $i=1, \dots, I$; $j=1, \dots, J$; $(i, j) \in R$ como la variable que lleva a cabo la distritación del país. La variable toma el valor 1 si la comuna i se asigna al centro de distrito j . Y se define la variable s_j ; $j=1, \dots, J$ como la cantidad de escaños asignados al posible centro de distrito de la comuna j . Para un centro de distrito j , $\sum_{i=1}^I p_i x_{ij}$ es la población

del distrito, y para que el número de escaños s_j sea exactamente proporcional a la población de un distrito se debería cumplir (3). Como (3) es generalmente un número fraccionario, hay que redondearlo de algún modo y, por lo tanto, se define s_j como una variable entera positiva.

$$s_j = \frac{S}{P} \sum_{i=1}^I p_i x_{ij} \quad j = 1, \dots, J \quad (3)$$

La variable auxiliar z_{ij} ; $i=1, \dots, I$; $j=1, \dots, J$; $(i, j) \in R$ toma el valor 1 si los escaños que se asignan al centro de distrito i son mayores que al centro de distrito j , y 0 en caso contrario, $i=1, \dots, I$; $j=1, \dots, J$; $(i, j) \in R$.

La función objetivo del modelo (4) minimiza la distancia ponderada por población de cada centro de distrito sumado a través de todos los distritos de cada región. Si bien no se considera explícitamente los indicadores de representatividad en la función objetivo estos son forzados a través de las restricciones.

$$\text{Min} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J p_i d_{ij} x_{ij} \right) \quad (4)$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = D \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, I \quad (6)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; (i, j) \in R \quad (7)$$

$$\text{Max}_{\substack{j=1, \dots, J \\ x_{ij}=1}} \left(s_j - \frac{S}{P} \sum_{i=1}^I p_i x_{ij} \right) \leq 0,999 \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^J s_j = S_r \quad r = I, II, \dots, XV \quad (9)$$

$$s_i - s_j \leq M z_{ij} \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; (i, j) \in R \quad (10)$$

$$s_i - s_j \leq M z_{ij} \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; (i, j) \in R \quad (11)$$

$$i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; (i, j) \in R \quad (12)$$

$$3x_{jj} \leq s_j \leq 8x_{jj} \quad j = 1, \dots, J \quad (13)$$

$$x_{ij} \text{ binaria } i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; (i, j) \in R \quad (14)$$

$$s_j \text{ entera } j = 1, \dots, J \quad (15)$$

$$z_{ij} \text{ binaria } i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; (i, j) \in R \quad (16)$$

El primer conjunto de restricciones buscan una correcta distritación. En (5) se construyen D distritos, en (6) cada comuna se debe asignar a un centro de distrito y (7) permite que se asigne una comuna a un posible centro de distrito si este último se elige como uno de los centros de distrito. Las siguientes restricciones del modelo tienen la finalidad de asignación de escaños: (8) busca que la máxima diferencia en valor absoluto entre los escaños asignados al centro de distrito j activo y los que proporcionalmente deberían ser asignados por

población sean <1 , si bien esta restricción es no-lineal esta es linealizada; (9) fuerza a que en cada región se asignen S_r escaños; (10) exige que se construyan más distritos en las regiones más pobladas; (11) y (12) obligan que en cada región si un distrito recibe más escaños tenga más población. En (11) la variable binaria z_{ij} es = 1 si los escaños asignados al centro de distrito i son mayores que al centro de distrito j , y 0 en caso contrario. Si $z_{ij} = 1$ a través de la restricción lógica (12) obliga la población del centro de distrito i sea mayor o igual que la población del centro de distrito j , donde M es un número suficientemente grande. (13) obliga a asignar un mínimo y máximo de escaños a una comuna centro de distrito activa. La cota mínima y máxima de esta restricción se debe a que la cantidad de escaños de un distrito debe oscilar en el rango de 3 a 8 diputados. Finalmente, se consideran las restricciones de la naturaleza de las variables (14), (15) y (16).

Resultados

El año 2015 Chile estaba dividido en 15 regiones que, a su vez, estaban subdivididas en 346 comunas. De acuerdo al mapa de la reforma del año 2015, la aplicación del modelo se hizo con los parámetros vigentes en el nuevo sistema, asignando 155 escaños a distribuir en 28 distritos de diputados. El modelo fue implementado en el lenguaje de modelación AMPL 10.0 (Fourer *et al.*, 2003) y resuelto con el solver CPLEX 12.6 (IBM, 2016), utilizando las poblaciones del Censo 2012 (INE, 2012). La primera solución óptima produjo discontinuidades en las regiones V y Metropolitana. Para solucionar esto se agregaron restricciones que impiden esta discontinuidad, produciendo solo un problema de compacidad para la región IX, el cual se solucionó a través de una restricción que la evitaba (Tabla I). En las Figuras 1 y 2 se presentan los distritos

TABLA I
SOLUCIONES PARA GENERAR CONTIGÜIDAD Y COMPACIDAD

Motivo de la incorporación	Variación función objetivo respecto de la ejecución inicial	Tiempo de ejecución (s)
Ejecución inicial	-	118,40
Contigüidad - V Región	0,04%	145,44
Contigüidad - V Región	0,20%	91,32
Contigüidad - RM	0,20%	87,99
Contigüidad - RM	0,21%	102,90
Contigüidad - RM	0,21%	109,64
Contigüidad - RM	0,22%	141,53
Compacidad - IX Región	0,25%	204,60

RM: Región Metropolitana.

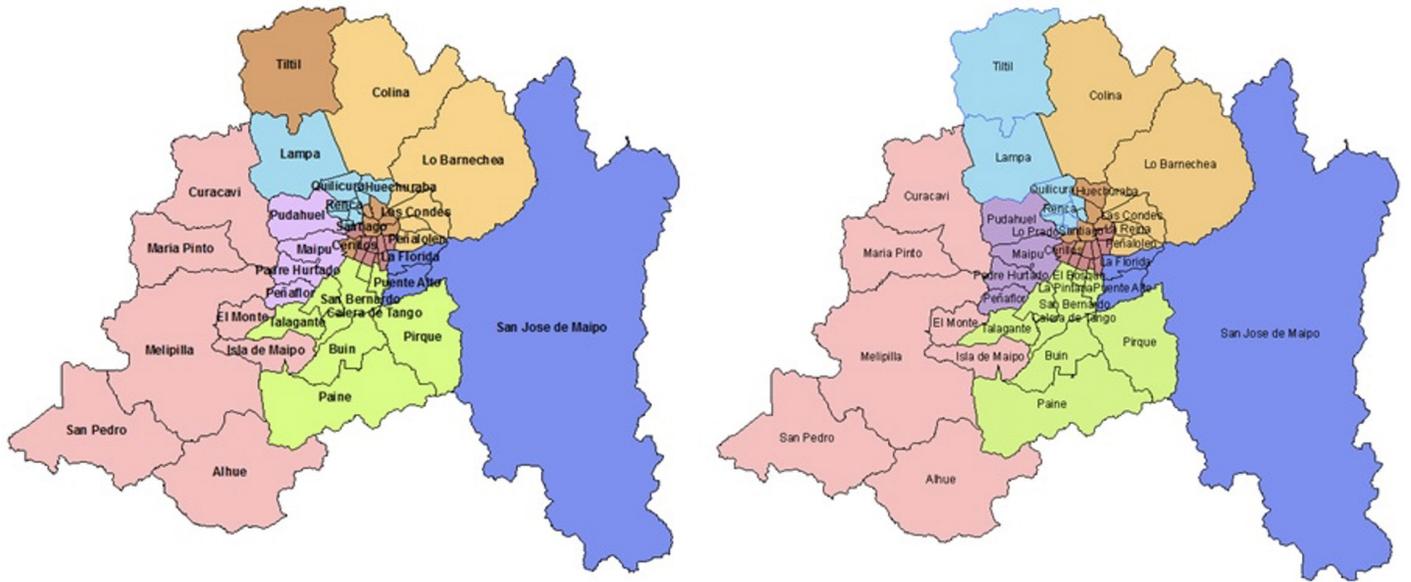


Figura 1. Región Metropolitana sin y con contigüidad.

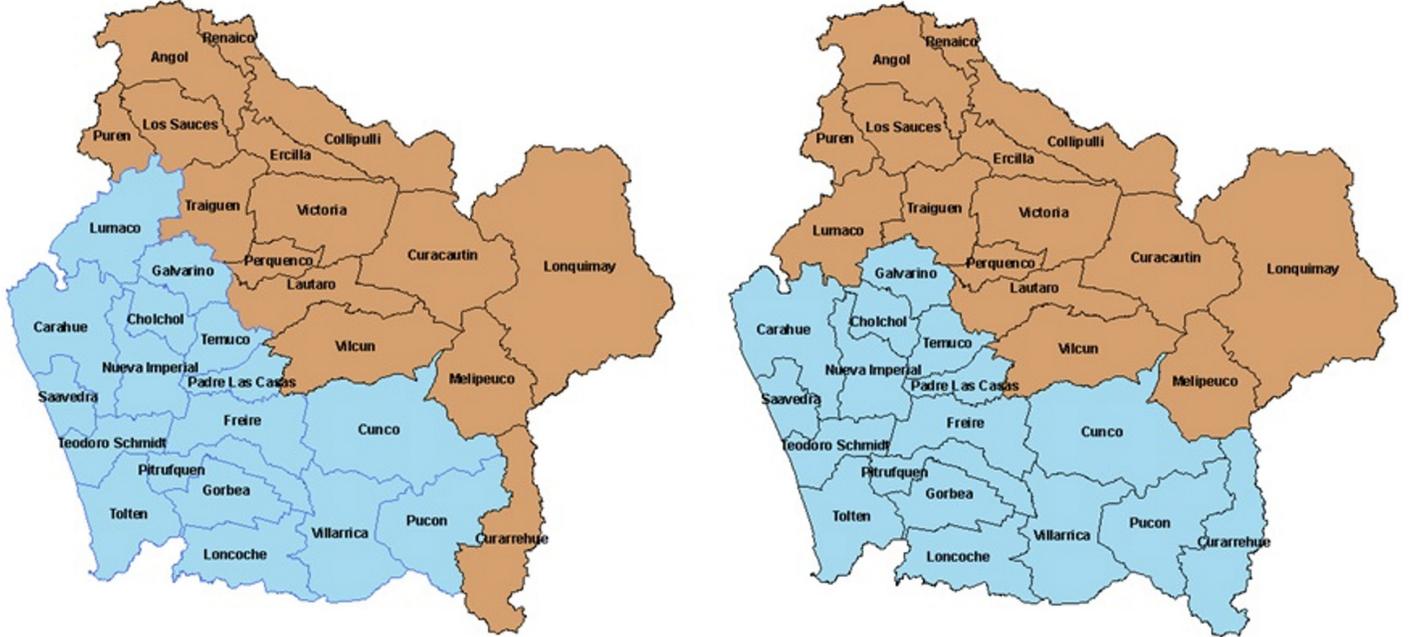


Figura 2. IX Región sin y con compactidad para distrito 23.

iniciales y finales para las regiones Metropolitana y IX.

En la Tabla II se muestra las poblaciones por escaños y el MAP del mapa electoral propuesto, que se obtuvo de la solución del modelo de distritación y asignación de escaños, descontando las regiones en donde la población no supera el 1,93% (3/155), a los cuales se les asigna un distrito único con tres diputados (con asterisco en la tabla). El distrito 24 de la

IX Región es el más castigado, con 128.049 habitantes por escaño, y el distrito 15 de la Región Metropolitana el más favorecido, con 77.327 habitantes por escaño. En contraste, en la reforma del 2015, este mínimo y máximo era de 71.435 habitantes por escaño en el distrito 22 de la Región IX y 169.539 habitantes por escaño en el distrito 8 de la Región Metropolitana.

La Tabla III muestra los valores de los indicadores para el sistema

binominal, la reforma del 2015 y el distritaje propuesto, en donde se puede apreciar la mejora respecto de los tres indicadores. El MAP se reduce de 10,57 a 5,41. La sumatoria de Desvíos disminuye de un 19,33 a un 14,49. Respecto al indicador Sobre-representados, la reforma aumentó el porcentaje de estos de un 46,66% a un 60,71%, sin embargo, el mapa propuesto por este trabajo lo reduce a un 39,28%.

TABLA II
CÁLCULO DEL MAP PARA MAPA ELECTORAL PROPUESTO

Región	Distrito	Escaños	%E	Población	%P	Población por escaño	%E-%P
XI*	27	3	1,94%	99.609	0,60%	33.203	1,34%
XII*	28	3	1,94%	159.341	0,96%	53.114	0,98%
XV*	1	3	1,94%	213.816	1,29%	71.272	0,65%
RM	15	3	1,94%	231.980	1,40%	77.327	0,54%
VIII	22	3	1,94%	247.867	1,49%	82.622	0,44%
IX	23	3	1,94%	272.821	1,64%	90.940	0,29%
XIV	25	4	2,58%	364.592	2,19%	91.148	0,39%
VII	17	3	1,94%	286.395	1,72%	95.465	0,21%
III*	4	3	1,94%	292.054	1,76%	97.351	0,18%
I*	2	3	1,94%	300.021	1,80%	100.007	0,13%
IV	5	7	4,52%	707.654	4,26%	101.093	0,26%
VIII	19	4	2,58%	429.633	2,58%	107.408	0,00%
II	3	5	3,23%	547.463	3,29%	109.493	-0,07%
RM	14	8	5,16%	877.099	5,27%	109.637	-0,11%
VI	16	8	5,16%	877.784	5,28%	109.723	-0,12%
RM	13	8	5,16%	887.601	5,34%	110.950	-0,18%
V	6	7	4,52%	780.952	4,70%	111.565	-0,18%
RM	8	8	5,16%	906.185	5,45%	113.273	-0,29%
RM	12	8	5,16%	907.800	5,46%	113.475	-0,30%
VII	18	6	3,87%	681.941	4,10%	113.657	-0,23%
X	26	7	4,52%	798.141	4,80%	114.020	-0,28%
VIII	20	3	1,94%	349.017	2,10%	116.339	-0,16%
VIII	21	8	5,16%	945.481	5,69%	118.185	-0,52%
V	7	8	5,16%	947.412	5,70%	118.427	-0,54%
RM	9	8	5,16%	955.225	5,74%	119.403	-0,58%
RM	10	8	5,16%	957.957	5,76%	119.745	-0,60%
RM	11	8	5,16%	961.838	5,78%	120.230	-0,62%
IX	24	5	3,23%	640.244	3,85%	128.049	-0,62%

MAP = 5,41

TABLA III
VALORES DE INDICADORES PARA EL SISTEMA BINOMINAL, REFORMA DEL 2015 Y EL MAPA ELECTORAL PROPUESTO

Mapa Electoral	MAP	Sumatoria de Desvíos	Sobre-representados
Sistema binominal	17,79	21,41	28/60
Reforma 2015	10,57	19,33	17/28
Mapa electoral propuesto	5,41	14,49	11/28

Conclusiones

La programación matemática puede ser una herramienta muy útil para la construcción de mapas electorales que busquen la representatividad de población-escaño. El modelo presentado no considera elementos de manipulación en la conformación de los distritos, que puedan beneficiar o perjudicar a un partido político (*gerrymandering*). El mapa electoral generado por el modelo produjo una distri-tación que mejora significativamente los indicadores de representatividad. El MAP

del mapa propuesto es de 5,41 que en comparación con el de la reforma del año 2015 (que era 10,57) está dentro de los estándares definidos internacionalmente. Además el mapa redujo los indicadores de sumatoria de Desvíos, y los distritos Sobre-representados, que se redujeron de 17 a 11.

REFERENCIAS

Bachelet M (2014) *Mensaje de S.E. La Presidenta de la República con el que inicia un Proyecto de Ley que sustituye el Sistema Electoral Binominal por un Sistema Electoral*

Proporcional Inclusivo y fortalece la representatividad del Congreso Nacional N° 076-362. Biblioteca del Congreso Nacional, Santiago, Chile, 22 pp.

Bozkaya B, Erkut E, Haight D, Laporte G (2011) Designing new electoral districts for the city of Edmonton. *Interfaces* 41(6): 534-547.

Comisión de Venecia (2001) *Código de Buenas Prácticas en Materia Electoral. Directrices e Informe Explicativo*. Comisión Europea para la Democracia por el Derecho. Tribunal Electoral del Poder Judicial de la Federación, México, 60 pp.

Cosano PS (2009) La desigualdad y el valor de un voto: El malapportionment de las cámaras bajas en perspectiva comparada. *Rev. Estud. Polít.* (nueva época) 143: 165-188.

Dahl R (1971) *Polyarchy: Participation and Opposition*. Yale University Press. New Haven, CO, EEUU. 257 pp.

ESRI (2012) *Tutorial de Edición. ArcGIS 10.0*. 90 pp.

Fourer R, Gay DM, Kernighan BW (2003) *AMPL A Modeling Language for Mathematical Programming*. 2ª ed. Duxbury/Brooks/Cole. EEUU. 517 pp.

Gamboa R (2008) Los proyectos legislativos de reforma al sistema binominal: 1990-2007. En Fontaine A, Larroulet C, Navarrete J, Walker

- I (Eds.) *Reforma del Sistema Electoral Chileno*. PNUD/CEP/Libertad y Desarrollo/Proyectamérica/CIEPLAN. Santiago, Chile. 261 pp. 245-261.
- Girón González-Torre FJ, Bernardo Herranz JM (2007) Las matemáticas de los sistemas electorales. *Rev. Real Acad. Cs. Exact. Fis. Natur.* 101: 21-33.
- Guevara G (2007) Proporcionalidad Territorial en el Mapa Electoral Chileno: Una Aproximación a la Geografía de la Representación a partir de la Elección Parlamentaria 2005. Tesis. Universidad de Chile. Santiago, Chile, 170 pp.
- IBM (2016) *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. CPLEX User's Manual*. IBM Corporation EEUU. 528 pp.
- INE (2012) *Resultados Preliminares Censo de Población y Vivienda 2012*. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago, Chile. 60 pp.
- López Levi L (2006) Redistribución electoral en México: logros pasados y retos futuros. *Invest. Geogr.* 61: 99-113.
- Loosemore J, Hanby VJ (1971) The theoretical limits of maximum distortion: Some analytic expressions for electoral systems. *Br. J. Polit. Sci.* 1(4): 467-477.
- Navia P (2006) Principios rectores para una reforma electoral. En *Foco* (Corporación Expansiva) 68. Santiago, Chile. 15 pp.
- Reynoso D (2001) Distritos y escaños en Brasil: antecedentes, diagnóstico y consecuencias partidarias del malaportionamiento. *Polít. Gob.* 8: 167-191.
- Reynoso D (2002) ¿Es tan malo el malaportionamiento? Sobrerrepresentación distrital, bicameralismo y heterogeneidad. *Republicana Polít. Soc.* 1: 55-64.
- Reynoso D (2004) La sobrerrepresentación distrital electoral en Sonora y Sinaloa, 1994-2004: sus efectos en perspectiva comparada. *Región Soc* 16(29): 145-168.
- Rojas P, Navia P (2005) Representación y Tamaño de los Distritos Electorales en Chile, 1988-2004. *Rev. Cienc. Polít.* 25(2): 91-116.
- Samuels D, Snyder R (2001) The value of a vote: Malapportionment in comparative perspective. *Br. J. Polit. Sci.* 31(4): 651-671.
- Tasnádi A (2011) The political districting problem: A survey. *Soc. Econ.* 33(3): 543-554.
- Valenzuela A, Siavelis P (1991) Ley electoral y estabilidad democrática. Un ejercicio de simulación para el caso de Chile. *Estudios Públicos* 43: 27-87.
- Weaver JB, Hess S (1963) Procedure for nonpartisan districting: development of computer technique. *Yale Law J.* 73(2): 288-308.

MODEL OF DISTRICT DISTRIBUTION AND SEAT ASSIGNMENT FOR THE REFORM OF THE CHILEAN ELECTORAL SYSTEM

Rodrigo Rebolledo Vega, Gustavo Chávez Errázuriz, Óscar Cornejo Zúñiga, Carlos Obreque Niñez and Giuliani Coluccio Piñones

SUMMARY

The electoral MAP representativeness of the binomial voting system used in Chile has always had problems in the elections. Although the reform of the year 2015 fixed a portion of the distortions, this system still has issues with the accordance between the voting and the parliamentary seats. Under this circumstance, a mathematical programming mod-

el is proposed which defines the district distribution and seat assignment in the Lower House of Chile, obtaining significant improvements in three representativeness indicators. The implications of this redistribution at the level of political analysis are important; however, they are not considered in this paper.

MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DE DISTRITOS E ALOCAÇÃO DE POSTOS PARA A REFORMA DO SISTEMA ELEITORAL CHILENO

Rodrigo Rebolledo Vega, Gustavo Chávez Errázuriz, Óscar Cornejo Zúñiga, Carlos Obreque Niñez e Giuliani Coluccio Piñones

RESUMO

A representatividade do mapa eleitoral do sistema binominal chileno, sempre foi um tema problemático no momento das eleições. Mesmo com a reforma feita em 2015 que corrige as distorções que o sistema binominal manifestava, continua apresentando problemas de representatividade população/lugares. Frente a esse cenário se introduz um modelo de programação

matemática, que define a distribuição dos distritos e determina os postos na Câmara de Deputados do Chile, obtendo assim melhoras significativas em três indicadores que medem a representatividade. As implicações desta redistribuição no nível de análise política são importantes, mas não são consideradas neste documento.