

Universidad de Valladolid

**Facultad de Ciencias Económicas y
Empresariales**

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Economía

**Método de Schulze: Teoría y
práctica**

Presentado por:

Víctor Gómez Álvarez

Tutelado por:

Miguel Martínez Panero

Valladolid, 06 de julio de 2018

RESUMEN

En el año 1997 Markus Schulze propuso un nuevo sistema de votación llamado “método de Schulze”. Este sistema de votación surgió en un foro de internet y poco a poco empezó a tener cada vez más relevancia, empleándose en la organización interna de varios partidos políticos y organizaciones.

El método de Schulze se encuadra en la teoría del voto no posicional ya que selecciona al ganador de Condorcet, si este existe. Desde el punto de vista teórico, lo importante de este procedimiento es que cumple muchas y muy buenas propiedades como, por ejemplo, el criterio de la mayoría, monotonía, independencia de clones o inmunidad a la paradoja de perdedor absoluto, entre otras. Sin embargo, el problema de este método de votación es su complejidad computacional.

En la parte práctica del trabajo se replicarán los resultados de una encuesta popular realizada en el municipio de Silla situado en la Comunidad Valenciana, a través del método de Schulze y se contrastarán con la regla de Borda. También se llevó a cabo un cuestionario a Salvador Mestre, concejal de Transparencia, Comunidad y Participación en el Ayuntamiento de Silla y Secretario General de Podemos Silla, acerca de la implantación del método de Schulze en dicho municipio. Además, se replicarán las elecciones generales de junio de 2016 a través del sistema de Schulze estableciendo varios supuestos.

Palabras clave: Elección social, Método de votación, Método de Schulze.

Códigos de la Clasificación JEL: Análisis de la toma de decisiones colectiva (D7): Elección social; bienes club; comités; asociaciones (D71).

ABSTRACT

In 1997 Markus Schulze proposed a new voting system called "Schulze's method". This voting system emerged in an Internet forum and little by little it became more and more relevant, being used in the internal organization of several political parties and organizations.

Schulze's method belongs to the non-positional theory voting because it selects the winner of Condorcet, if it exists. Theoretically, what is important about this voting method is that it fulfills many and very good properties, such as, for example, the criterion of the majority, monotony, independence of the clones or immunity to the absolute loser paradox, among others. However, the problem with this voting method is its computational complexity.

In the practical part of the work the results of a popular survey, carried out in the municipality of Silla located in the Comunidad Valenciana will be replicated, through the Schulze method and contrasted with the Borda rule. In addition, a questionnaire is conducted to Salvador Mestre, councilor for Transparency, Community and Participation in the City Council of Silla and General Secretary of Podemos Silla, about the implementation of the Schulze method in this municipality. In addition, the general elections of June 2016 will be replicated through the Schulze system establishing several assumptions.

Keywords: Social choice, Voting methods, Schulze method.

JEL Classification Codes: Analysis of Collective Decision-Making(D7): Social Choice; Clubs; Committees; Associations (D71).

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. CONTEXTO DEL METODO DE SCHULZE	9
2.1. Historia del sistema de Schulze	11
2.2. Origen del nombre del método	12
2.3. Notación	12
3. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE SCHULZE	12
4. ANÁLISIS DEL MÉTODO DE SCHULZE	21
4.1. Propiedades que satisface	21
4.1.1 Consistencia de Condorcet.....	21
4.1.2 Principio débil de Pareto	21
4.1.3 Monotonía	21
4.1.4 Simetría (“Reversal Symmetry”).....	21
4.1.5 Criterio de la mayoría.....	22
4.1.6 Inmunidad a la paradoja de perdedor absoluto	22
4.1.7 Independencia de clones	22
4.2. Propiedades que no satisface	24
4.2.1 Inmunidad a la paradoja de la abstención (“No Show Paradox”).....	24
4.2.2 Independencia de alternativas irrelevantes	27
4.2.3 Consistencia.....	30
5. APLICACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SILLA	35
5.1. Puesta en práctica del método	35
5.2. Réplica de resultado	37
5.3. Cuestionario a Salvador Mestre Zaragoza	40
6. SCHULZE, COMO ALTERNATIVA EN POLITICA NACIONAL	44
7. CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	51

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analizará el método de votación propuesto por Markus Schulze en el año 1997. Actualmente, este método de votación está adquiriendo cada vez más relevancia ya que se está empleando para la organización interna de distintos partidos políticos, así como en importantes organizaciones.

El método de Schulze pertenece a la teoría del voto no posicional debido a que este sistema de votación selecciona al ganador de Condorcet si este existe. Lo relevante de este sistema de votación es que cumple muchas y muy buenas propiedades dentro de la Teoría de la Elección Social como, por ejemplo, el criterio de la mayoría, monotonía, independencia de clones, entre otras que se explicarán a lo largo del trabajo. El gran problema de este método de votación es su complejidad computacional, lo que hace indispensable el uso de un software informático para poder llevarlo a la práctica.

Cabe señalar que el método de Schulze, pese a sus buenas propiedades, no las aglutina todas. Según el teorema de la imposibilidad de Arrow [1], no existe ningún sistema de votación perfecto, es decir, que permita generalizar las preferencias de los individuos hacia una “preferencia social” de toda la comunidad, de tal manera que, de forma simultánea, se cumplan ciertos criterios de racionalidad y valores democráticos que, a su vez, satisfagan las buenas propiedades de los métodos de votación.

Este sistema de votación consiste en comparar cada alternativa a través de caminos, con cada una de las demás alternativas, midiendo el menor margen de victoria entre las dos alternativas. La finalidad es seleccionar una alternativa con los caminos más fuertes a través de las cuales puede derrotar (directa o indirectamente) a todas las demás alternativas.

El trabajo tiene una parte práctica en la que se estudiará el caso del municipio de Silla situado en la Comunidad Valenciana. Se replicará una encuesta popular realizada por el Ayuntamiento a través del método de Schulze y, posteriormente, se contrastará a través de la regla de Borda con la finalidad de determinar si ambos sistemas de votación seleccionan a una alternativa distinta como vencedora. Además, se ha llevado a cabo un cuestionario al concejal de Transparencia, Comunidad y Participación, Salvador Mestre, acerca de la implantación del método de Schulze en dicho municipio.

En la última sección del trabajo se replicarán las elecciones generales de junio de 2016 a través del método de Schulze para determinar qué partido político habría ganado las elecciones usando este sistema de votación bajo un sistema presidencialista.

La elección de este tema se basa en su interés, debido a que es el método de votación que más propiedades satisface, aunque sea tan complejo. Además, tenía curiosidad por conocer cómo puede aplicarse en la práctica y qué organizaciones lo emplean.

Objetivos del estudio:

- Conocer la evolución histórica del método de Schulze.
- Examinar su funcionamiento.
- Analizar las buenas y malas propiedades del método a fin de proporcionar una conclusión del estudio.
- Realizar un caso práctico y contrastar los resultados con la regla de Borda.
- Estudiar si este método de votación se podría aplicar en las elecciones generales de nuestro país.

El trabajo se organiza como sigue: en la sección 2, dedicada al contexto del método de Schulze, se encuadrará el sistema de votación dentro de la Teoría de la Elección Social y la evolución desde su creación en el año 1997; en la sección 3, que trata de la implementación del método de Schulze, se explicará el funcionamiento del sistema de votación; en la sección 4, que analiza el método

de Schulze, se estudiarán las propiedades de dicho sistema cumple o incumple; en la sección 5 se describe la aplicación del procedimiento en el municipio de Silla y se adjuntan las respuestas a un cuestionario realizado al concejal de Participación Ciudadana Salvador Mestre; además se han replicado los resultados de una encuesta popular en dicho municipio a través del método de Schulze y, paralelamente, a través de la regla de Borda; en la sección 6 se analiza la validez de Schulze, como alternativa en política nacional, es decir, su viabilidad en unas elecciones generales; por fin, en la sección 7, concluiremos detallando de las buenas y malas propiedades del método de Schulze comparándolas con las de la regla de Borda, para poder establecer una valoración del método tratado.

2. CONTEXTO DEL METODO DE SCHULZE

Según Gärdenfors [2], dentro de la Teoría de la Elección Social existen dos grandes líneas contrapuestas que tratan de determinar qué alternativa debería ser vencedora en una votación: la teoría del voto posicional, cuyos sistemas de votación referentes son las reglas de puntuación, en especial la regla de Borda; y la teoría del voto no posicional, en la que se encuentran distintos métodos de votación que seleccionan al ganador de Condorcet si este existe.

Los sistemas de votación que seleccionan al ganador de Condorcet emplean las preferencias de los votantes para seleccionar la alternativa que vence a todas las demás por mayoría simple, en caso de existir. Estos sistemas de votación tienen muy buenas propiedades; satisfacen el criterio de la mayoría, la consistencia de Condorcet y el principio débil de Pareto. Sin embargo, no satisfacen el criterio de consistencia, el de participación o la inmunidad a la paradoja de la abstención. Existen varios métodos de votación que seleccionan como vencedor al ganador de Condorcet, como Copeland, Kemeny, o Schulze (al que se dedica el trabajo), entre otros.

La regla de Borda, que se contrastará con el método de Schulze a lo largo del trabajo, está basada en un sistema de puntuación ponderando de mayor a

menor las alternativas, en función del orden de preferencias de los votantes. Este sistema de votación selecciona como ganadora a la alternativa que más puntuación obtenga. El método de Borda tiene muy buenas propiedades como el criterio de consistencia, monotonía, simetría, inmunidad a la paradoja de la abstención, inmunidad a la paradoja del perdedor absoluto, entre otras. Sin embargo, no cumple otras propiedades, como la consistencia de Condorcet o el criterio de la mayoría, etc.

A continuación, se mostrará un ejemplo en el que el ganador por el método de Borda puede ser distinto al ganador de Condorcet si este existe.

Ejemplo 1 (ya puesto de manifiesto por el propio Condorcet):

Considere una elección que consta de cinco votantes y tres alternativas, en la que tres votantes prefieren A a B y B a C, mientras que dos de los votantes prefieren B a C y C a A tal como refleja la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Preferencias de los votantes

3 Votantes	2 Votantes
A	B
B	C
C	A

Fuente: [3]

Las puntuaciones de este ejemplo por el método de Borda son: $B(A)=6$, $B(B)=7$, $B(C)=2$.

La regla de Borda selecciona como vencedora la alternativa B pero Condorcet selecciona como ganadora la alternativa A porque dicha alternativa vence a todas las demás por mayoría simple (3 de los 5 votantes prefieren la alternativa A frente a la B y la C).

Existen variantes del método de Borda que seleccionan como vencedor al ganador de Condorcet, como el sistema de Nanson o el de Baldwin. Estos métodos de votación emplean el sistema de puntuación de Borda a través de varias vueltas en las que en cada una de ellas se van eliminando las alternativas que peor puntuación obtienen.

Cabe señalar que en internet existen páginas web que promueven el uso del método de Borda como la del Instituto De Borda [4] y otros portales web que fomentan el uso de los sistemas de votación que seleccionan al ganador de Condorcet como Condorcet vote [5].

2.1. Historia del método de Schulze

En el año 1997 Markus Schulze propuso un nuevo sistema de votación llamado "método de Schulze" en un foro de internet [6]. Schulze informó de este procedimiento a una gran cantidad de personas interesadas en los aspectos matemáticos de las elecciones. Este método parecía que no iba a ser muy trascendente hasta que, en enero de 2003, el "Software en el interés público" (SPI) realizó un proyecto basado en una organización de perfeccionadores de programas informáticos con alrededor de 300 miembros elegibles empleando este sistema de votación. En junio de 2003, el proyecto Debian, una organización de desarrolladores de software con aproximadamente 900 miembros elegibles, optó también por este método en un referéndum con 144 votos a favor y 16 en contra. Gracias a la repercusión del proyecto Debian, el método de Schulze fue evolucionando a través de una secuencia de mensajes de correo electrónico e Internet efectuados por un grupo de entusiastas, que trataron de desarrollar reglas de votación viables que realmente se puedan poner en uso en la vida real. La Fundación Wikimedia¹ decidió utilizar el sistema de votación de Schulze en mayo de 2008 con alrededor de 43000

¹ La Fundación Wikimedia es una organización sin ánimo de lucro fundada en el año 2003. El objetivo de Wikimedia es facultar y animar a la gente de todo el mundo a reunir y desarrollar contenido educativo neutral bajo una licencia de contenido libre o en el dominio público, y a difundirla de manera efectiva y global. Para ello destacan las organizaciones como Wikipedia, Wikinoticias, Wikcionario, entre otras.

miembros elegibles. En octubre de 2009 el Partido Pirata de Suecia² lo adoptó también con aproximadamente 8000 miembros elegibles (sobre el número de organizaciones que emplean este método de votación puede consultarse [7] en el apartado “Users”).

No fue hasta el año 2011 cuando la revista académica *Social Choice and Welfare* publicó un artículo sobre el método de Schulze catapultándolo directamente al mundo académico y a la fama (véase [8] para más detalles).

2.2. Origen del nombre del método

Cuando Markus Schulze ideó el método objeto del presente trabajo no sabía cómo denominarlo exactamente. A mucha gente le gustaba el nombre "Método Beatpath" (de beat “vencedor” y path “camino”), "Ganador de Beatpath", o “Path Voting” (Path “camino” y voting “votación”), etc. Sin embargo, su creador prefirió llamarlo simplemente “Método de Schulze” debido a que los otros nombres no se refieren al método en sí, sino a sus características específicas para implementarlo mientras que, al fin y al cabo, las propiedades del procedimiento son lo relevante (para ampliar información consúltese [8, pp.4]).

2.3. Notación

En esta subsección se usará la simbología de Schulze [8] y Börgers [9].

Sea un conjunto de votantes $V = \{1, \dots, m\}$ siendo $m \geq 2$. Se supone que también existe un número finito de alternativas $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ siendo $n \geq 2$.

La idea clave en el método de Schulze es la de fuerza en la comparación indirecta entre dos alternativas. Decimos que la alternativa x_1 vence a la

² El Partido Pirata de Suecia es un partido político fundado en el año 2006 y en cuyos objetivos están la reforma de las leyes sobre la propiedad intelectual, la defensa de los derechos políticos y civiles y la transparencia de las Administraciones Públicas entre otros. Sus mejores resultados electorales fueron en el año 2009, cuando consiguieron dos escaños en el Parlamento Europeo. Actualmente existen partidos Pirata en varios países como en Alemania, Canadá, Polonia, España, etc.

alternativa x_2 indirectamente cuando la alternativa x_1 vence³ a la alternativa x_2 directamente o cuando la alternativa x_1 vence a alguna que supera a la alternativa x_2 , directa o indirectamente⁴. Por tanto, un ganador de Schulze es una alternativa que vence indirectamente a todas las demás.

Definiciones básicas

Sean dos alternativas cualesquiera x_i y x_j .

- $N[x_i, x_j]$ es el número de votantes que prefieren la alternativa x_i a la alternativa x_j .
- El margen de x_i respecto de x_j viene dado por mediante $N[x_i, x_j] - N[x_j, x_i]$, estando contenido entre $-n$ y su opuesto n . Este margen puede ser positivo, negativo o nulo.
- Se supone $c(1), \dots, c(n)$ es el camino de la alternativa $x_i \equiv c(1)$ a la alternativa $x_j \equiv c(n)$. La fuerza de este camino es el margen más pequeño de victoria de los $n-1$ posibles pares consecutivos de alternativas en ese camino.
- La fuerza de un camino se calcula como $\min \{ (N[c(i), c(i+1)], N[c(i+1), c(i)]) \mid i = 1, \dots, (n-1) \}$. Es decir, la fuerza de un camino viene determinada por la fuerza de su eslabón más débil.
- $P[x_i, x_j] := \max \{ \min \{ (N[c(i), c(i+1)], N[c(i+1), c(i)]) \mid i = 1, \dots, (n-1) \}$. Es decir, la fuerza del camino más fuerte desde la alternativa $x_i \in X$ hasta la alternativa $x_j \in X$.
- La alternativa x_i vence a la alternativa x_j indirectamente cuando el camino más fuerte entre la alternativa x_i a la x_j es más fuerte que el camino entre la alternativa x_j a la x_i .

³ Se entiende por “vencer” cuando una alternativa es mejor que otra para la mayoría simple de los votantes.

⁴ Una alternativa que vence a todas las demás directamente sería la alternativa ganadora de Condorcet.

- Diremos que $x_i \blacktriangleright x_j$ si y solamente si $P[x_i, x_j] > P[x_j, x_i]$.

Ganador de Condorcet

Con la notación introducida, un ganador de Condorcet existe cuando una alternativa tiene un margen positivo frente a todas las demás.

Ganador de Schulze

Análogamente, con la simbología empleada una alternativa x_i es ganadora de Schulze $P[x_i, x_j] > P[x_j, x_i]$ para todo x_j .

Como ya se ha indicado repetidamente, el ganador de Condorcet puede no existir, aunque si existe es único. Sin embargo, como se verá, siempre habrá un ganador de Schulze. La razón de ello, tal como prueban Schulze [8] y Börgers [9] se basa en el hecho de que \blacktriangleright es una relación transitiva, es decir, $x_i \blacktriangleright x_j$ y $x_j \blacktriangleright x_k$, implica que $x_i \blacktriangleright x_k$.

Por consiguiente, el método siempre selecciona a un conjunto no vacío de ganadores de Schulze (ya que \blacktriangleright nunca presenta ciclos). Resumiendo, no siempre existe un ganador de Condorcet, pero siempre hay un ganador de Schulze. Cuando existe un ganador de Condorcet este coincide con el ganador de Schulze.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE SCHULZE

Tal como se ha indicado, el sistema de votación de Schulze pertenece al grupo de los Condorcet-consistentes, es decir, este método selecciona como vencedora la alternativa que vence al resto de alternativas por mayoría simple, si esta existe. En un torneo, cada alternativa se enfrenta al resto de alternativas en una competición cara a cara. Lo relevante de este método de votación es que cumple muchas y muy buenas propiedades como, por ejemplo, el criterio

de la mayoría, monotonía, independencia de clones o inmunidad a la paradoja de perdedor absoluto, entre otras.

El problema de este método de votación es su complejidad. Cada votante clasifica las alternativas según su preferencia siendo capaz de dar la misma relevancia a varias alternativas, es decir, el votante es indiferente ante esas alternativas y también puede dejar alternativas sin clasificar. Cuando esto ocurre, significa que el votante prefiere todas las alternativas clasificadas a las no clasificadas. Este sistema consiste en comparar cada alternativa a través de caminos, con cada una de las demás alternativas, midiendo el menor margen de victoria entre las dos alternativas. El objetivo es seleccionar una alternativa con los caminos más fuertes a través de las cuales puede derrotar a todas las demás alternativas.

A continuación, se explicarán los pasos a seguir para encontrar un el vencedor por este procedimiento.

- Paso 1: Recopilar la información de las preferencias de los votantes a través de ordenaciones lineales.
- Paso 2: Establecer todos los torneos de las distintas alternativas y dibujar el grafo.
- Paso 3: Determinar, con ayuda del grafo, los caminos que sigue cada alternativa para enfrentarse con otra alternativa y medir la fuerza mínima de ese camino.
- Paso 4: Una vez medida la fuerza de todos los caminos, se deberá realizar los torneos con estos resultados para determinar la alternativa que vence a todas las demás.

En [7] y [10] pueden ampliarse más conocimientos sobre esta vía de seleccionar el ganador de Schulze.

El siguiente ejemplo muestra este procedimiento.

Ejemplo 2:

Existe un grupo de 12 votantes que tienen las siguientes ordenaciones lineales sobre 4 alternativas. En la tabla 3.1 se observan las preferencias de los votantes a través de ordenaciones lineales.

En este ejemplo no hay ganador de Condorcet ya que, si este existe, el método de Schulze lo selecciona como vencedor.

Tabla 3.1: Preferencias de los votantes

4 Votantes	3 Votantes	5 Votantes
A	B	C
B	C	A
D	D	D
C	A	B

Fuente: Börgers [9, pp. 38].

Realizamos los distintos torneos de cada alternativa reflejados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Matriz por pares

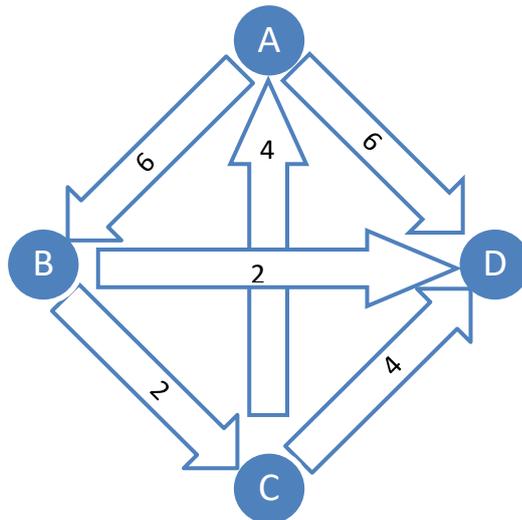
	$N[* ,A]$	$N[* ,B]$	$N[* ,C]$	$N[* ,D]$
$N[A, *]$		9	4	9
$N[B, *]$	3		7	7
$N[C, *]$	8	5		8
$N[D, *]$	3	5	5	

$N[A,B] = 9$ porque A es preferible a B para 9 votantes.

$N[B,A] = 3$ porque B es preferible a A para 3 votantes.

A continuación, se construye el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 1).

Figura 1



Ahora hay que medir la fuerza de los caminos de las distintas alternativas.

- El camino más fuerte desde la alternativa A hasta la alternativa B es: $A \rightarrow B = 6$
- El camino más fuerte desde la alternativa A hasta la alternativa C es: $A \rightarrow 6 \rightarrow B \rightarrow 2 \rightarrow C = 2$
- El camino más fuerte desde la alternativa A hasta la alternativa D es: $A \rightarrow D = 6$
- El camino más fuerte desde la alternativa B hasta la alternativa A es: $B \rightarrow 2 \rightarrow C \rightarrow 4 \rightarrow A = 2$
- El camino más fuerte desde la alternativa B hasta la alternativa C es: $B \rightarrow C = 2$
- El camino más fuerte desde la alternativa B hasta la alternativa D es: $B \rightarrow D = 2$
- El camino más fuerte desde la alternativa C hasta la alternativa A es: $C \rightarrow A = 4$
- El camino más fuerte desde la alternativa C hasta la alternativa B es: $C \rightarrow 4 \rightarrow A \rightarrow 6 \rightarrow B = 4$
- El camino más fuerte desde la alternativa C hasta la alternativa D es: $C \rightarrow D = 4$
- El camino más fuerte desde la alternativa D hasta la alternativa A es: $D \rightarrow A = 0$

- El camino más fuerte desde la alternativa D hasta la alternativa B es: D
→ B = 0
- El camino más fuerte desde la alternativa D hasta la alternativa C es: D
→ C = 0

Se observa claramente que la alternativa D es un perdedor absoluto ya que es vencida por el resto de alternativas.

Ahora se comparará la fuerza de las alternativas a través de torneos para determinar la vencedora.

$P[A,B] > P[B,A]$: La alternativa vencedora es la A con una fuerza⁵ de 4.

$P[C,A] > P[A,C]$: La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.

$P[A,D] > P[D,A]$: La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 6.

$P[C,B] > P[B,C]$: La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.

$P[B,D] > P[D,B]$: La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 4.

$P[C,D] > P[D,C]$: La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 4.

Como reflejan los torneos, la alternativa C vence tanto a A, como a B con una fuerza de 2 y a la alternativa D con una fuerza de 4. La alternativa A vence a la alternativa B, con una fuerza de 4, como a la alternativa D con una fuerza de 6. La alternativa B solo vence a la alternativa D con una fuerza de 4.

Por tanto, el único ganador Schulze es la alternativa C porque, para cualquier otra alternativa X, el camino más fuerte de la alternativa C a la alternativa X es más fuerte que el camino más fuerte de la alternativa X a la alternativa C.

El orden social es: $C > A > B > D$.

En este ejemplo, se observa la complejidad computacional del método de Schulze. Afortunadamente existen páginas webs donde se realizan estos

⁵ Se entiende aquí que esta magnitud es una diferencia entre fuerzas.

cálculos computacionales como Ranked-ballot voting calculator [11], Condorcet vote [5] o Condorcet Internet Voting Service [12].

Cuando no existe una alternativa vencedora de Condorcet, los métodos de votación característicos de la teoría del voto no posicional pueden seleccionar como ganadora una alternativa distinta, tal y como sucede con el sistema de Copeland en el ejemplo siguiente.

Ejemplo 3: Comparación del sistema de votación de Copeland con el de Schulze.

Existe un grupo de 4 votantes que tienen las siguientes ordenaciones lineales sobre 5 alternativas tal y como se representa en la tabla 3.3. En la tabla 3.4 se observa los distintos torneos de cada alternativa. Acompañando esta tabla se encuentra el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 2).

Tabla 3.3: Preferencias de los votantes

2 Votantes	1 Votante	1 Votante
D	C	E
E	B	A
B	A	C
A	D	B
C	E	D

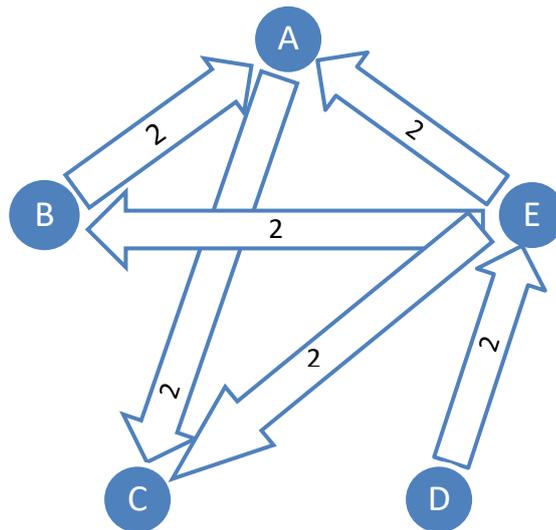
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4: Matriz por pares

	N[* ,A]	N[* ,B]	N[* ,C]	N[* ,D]	N[* ,E]
N[A,*]		1	3	2	1
N[B,*]	3		2	2	1
N[C,*]	1	2		2	1
N[D,*]	2	2	2		3
N[E,*]	3	3	3	1	

$P[B,A] > P[A,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 2.
 $P[A,C] > P[C,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.
 $P[D,A] > P[A,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 2.
 $P[E,A] > P[A,E]$ La alternativa vencedora es la E con una fuerza de 2.
 $P[B,C] > P[C,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 2.
 $P[D,B] > P[B,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 2.
 $P[E,B] > P[B,E]$ La alternativa vencedora es la E con una fuerza de 2.
 $P[D,C] > P[C,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 2.
 $P[D,E] > P[E,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 2.

Figura 2



La alternativa vencedora por el método de Schulze es la D. Esta alternativa no es ganadora de Condorcet ya que no vence directamente a las demás alternativas. A continuación, se utilizará otro sistema de votación de Copeland. Para conocer el funcionamiento de la regla de Copeland véase [13].

La puntuación por Copeland es $C(A) = -1$, $C(B) = 0$, $C(C) = -2$, $C(D) = 1$, $C(E) = 2$. El orden social es: $E > D > B > A > C$. Por tanto, ambos métodos seleccionan como vencedora alternativas distintas cuando no hay una alternativa ganadora de Condorcet.

4. ANÁLISIS DEL MÉTODO DE SCHULZE

A continuación, se analizará las propiedades más relevantes que satisface y no satisface el sistema de Schulze. A lo largo de la presente sección, salvo que se indique en las siguientes subsecciones, se tomará como referencia a Felsenthal [13].

4.1. Propiedades que satisface

4.1.1 Consistencia de Condorcet [14]

Un sistema de votación es *Condorcet-consistente* si, cuando exista una alternativa que es vencedora de Condorcet, dicha alternativa es elegida como única vencedora.

4.1.2 Principio débil de Pareto [8, pp.38]

Un sistema de votación satisface el *principio débil de Pareto* si una alternativa no puede resultar vencedora cuando todos los votantes prefieren estrictamente otra alternativa a la primera.

4.1.3 Monotonía [8, pp.42]

Un sistema de votación es *monótono* si una alternativa no puede resultar perjudicada cuando alguno de sus votantes incrementa su apoyo a dicha candidatura manteniendo el mismo orden de preferencia de las otras alternativas.

4.1.4 Simetría (“Reversal Symmetry”) [8, pp.40]

Un sistema de votación es *simétrico* si una alternativa vence por este método, pero al invertir las preferencias de los votantes esta misma alternativa no puede ser de nuevo la vencedora.

4.1.5 Criterio de la mayoría [14]

El *criterio de la mayoría* establece que un sistema de votación cumple esta propiedad si una alternativa es preferida por más de la mitad de los votantes, esta alternativa es seleccionada como vencedora.

4.1.6 Inmunidad a la paradoja de perdedor absoluto

Un sistema de votación es vulnerable a la *paradoja de perdedor absoluto* si una alternativa puede resultar vencedora a pesar de ser la peor para más de la mitad de los votantes.

4.1.7 Independencia de clones [8, pp.45]

Un sistema de votación es vulnerable a la *independencia de los clones* si al existir un número de alternativas similares, llamado conjunto de clones, no debe tener ninguna consecuencia en el resultado final de la votación. Por tanto, si el conjunto de clones contiene al menos dos alternativas, esta propiedad requiere que al eliminar uno de los clones no aumente ni disminuya la posibilidad de ganar ningún candidato que no esté en el conjunto de clones.

Esta propiedad hace que el método de Schulze sea muy útil para realizar referéndums, aunque es complicado encontrar candidatos tan similares popularmente para hacer campaña juntos. Generalmente es muy fácil proponer una gran cantidad de propuestas casi idénticas. Esta característica es en la que se basa Felsenthal, para no analizar el método de Schulze, porque él no considera que se satisfaga la propiedad de la independencia de los clones. Según Felsenthal esta

propiedad es la razón principal para que se propusiera este procedimiento.

A continuación, se mostrará a través del siguiente ejemplo.

Ejemplo 4:

Existe un grupo de 4 votantes que tienen las siguientes ordenaciones lineales sobre 5 alternativas. Siendo B, B₂ y B₃ alternativas que pertenecen al conjunto de clones. En la tabla 4.1 se observan las preferencias de los votantes a través de ordenaciones lineales y posteriormente, la tabla 4.2 refleja los torneos de cada alternativa con clones y la tabla 4.3 se muestra los torneos de cada alternativa sin clones.

Tabla 4.1: Preferencias de los votantes

1 Votante	1 Votante	2 Votantes
A	B ₃	C
B ₃	B	A
B	B ₂	B ₃
B ₂	C	B
C	A	B ₂

Fuente: [15].

Tabla 4.2: Matriz con clones por pares

	N[* ,A]	N[* ,B ₃]	N[* ,B]	N[* ,B ₂]	N[* ,C]
N[A, *]		3	3	3	1
N[B ₃ , *]	1		4	4	2
N[B, *]	1	0		4	2
N[B ₂ , *]	1	0	0		2
N[C, *]	3	2	2	2	

$P[A, B_3] > P[B_3, A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

$P[A, B_2] > P[B_2, A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.
 $P[A, B] > P[B, A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.
 $P[C, A] > P[A, C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.
 $P[C, B_3] > P[B_3, C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.
 $P[B_3, B] > P[B, B_3]$ La alternativa vencedora es la B_3 con una fuerza de 4.
 $P[B_3, B_2] > P[B_2, B_3]$ La alternativa vencedora es la B_3 con una fuerza de 4.
 $P[B, B_2] > P[B_2, B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 4.
 $P[C, B] > P[B, C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.
 $P[C, B_2] > P[B_2, C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.

El método de Schulze selecciona como vencedor a la alternativa C.

Tabla 4.3: Matriz sin clones por pares

	$N[*, A]$	$N[*, B]$	$N[*, C]$
$N[A, *]$		3	1
$N[B, *]$	1		2
$N[C, *]$	3	2	

$P[A, B] > P[B, A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.
 $P[C, A] > P[A, C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.
 $P[C, B] > P[B, C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.

El método de Schulze selecciona la alternativa C como vencedora.

Aunque un ejemplo nunca demuestra una propiedad, se pone de manifiesto que el método de Schulze satisface la propiedad de la independencia de los clones ya que la alternativa vencedora es la misma cuando existen alternativas similares (clones) que cuando no existen.

4.2. Propiedades que no satisface

4.2.1 Inmunidad a la paradoja de la abstención (“No Show Paradox”)

Un sistema de votación es inmune a la *paradoja de la abstención* cuando un votante no puede obtener un mejor resultado absteniéndose que participando en la votación.

Ejemplo 5:

Existe un grupo de 25 votantes que tienen las siguientes ordenaciones lineales sobre 4 alternativas. Los dos primeros votantes, cuyas preferencias son $A > B > C > D$, deciden abstenerse. La tabla 4.4 muestra las preferencias de todos los votantes. En la tabla 4.5 se observan los torneos de cada alternativa, acompañando esta tabla está el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 3).

Tabla 4.4: Preferencia de todos los votantes

2 V	7V	1V	2V	7V	2V	4V
A	B	B	B	C	D	D
B	A	C	D	A	B	C
C	D	A	C	D	A	A
D	C	D	A	B	C	B

Fuente: [16].

Tabla: 4.5 Matriz sin abstención por pares

	$N[*,A]$	$N[*,B]$	$N[*,C]$	$N[*,D]$
$N[A,*]$		13	11	17
$N[B,*]$	12		14	12
$N[C,*]$	14	11		10
$N[D,*]$	8	13	15	

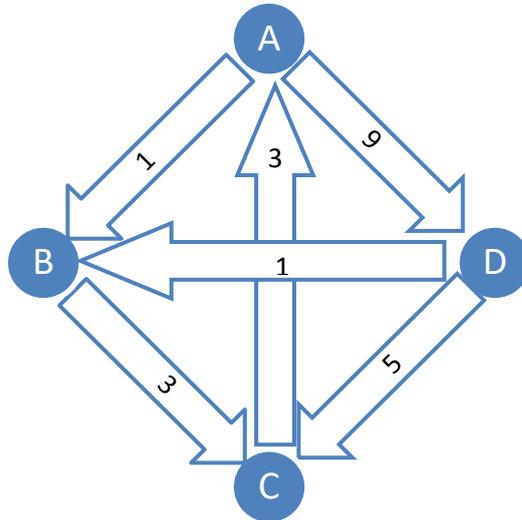
$P[B,A] > P[A,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 2.

$P[A,C] > P[C,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

$P[A,D] > P[D,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 6.

$P[B,C] > P[C,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 2.
 $P[B,D] > P[D,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 8.
 $P[D,C] > P[C,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 2.

Figura 3



La alternativa vencedora por Schulze es la B cuando los votantes no se abstienen.

En la tabla 4.6 se observan los torneos de cada alternativa, acompañando esta tabla está el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 4).

Tabla 4.6: Matriz con abstención por pares

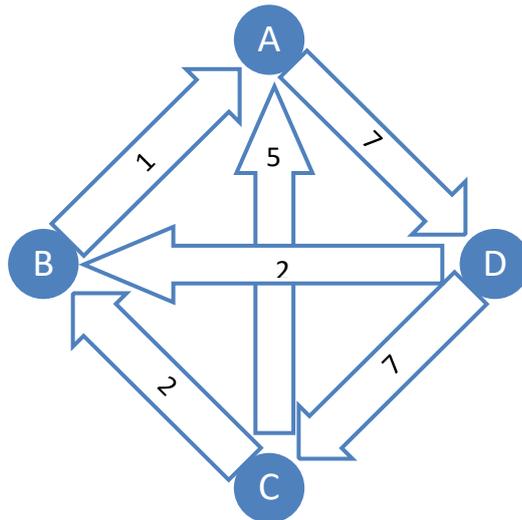
	$N[*,A]$	$N[*,B]$	$N[*,C]$	$N[*,D]$
$N[A,*]$		11	9	15
$N[B,*]$	12		12	10
$N[C,*]$	14	11		8
$N[D,*]$	8	13	15	

$P[A,B] > P[B,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 1.

$P[A,C] > P[C,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

$P[A,D] > P[D,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.
 $P[C,B] > P[B,C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 1.
 $P[D,B] > P[B,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 1.
 $P[D,C] > P[C,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 2.

Figura 4



La alternativa vencedora es la A cuando los votantes se abstienen.

Así, esos votantes han obtenido un mejor resultado para sus preferencias absteniéndose que votando. Por tanto, el método Schulze es vulnerable a la paradoja de la abstención.

4.2.2 Independencia de alternativas irrelevantes

Un sistema de votación satisface el principio de *independencia de alternativas irrelevantes* si, cuando dos perfiles (conjunto de preferencias de los votantes) coinciden sobre dos alternativas, entonces las preferencias colectivas también coinciden sobre dichas alternativas.

Ejemplo 6:

Existe un grupo de 12 votantes que tienen las siguientes ordenaciones lineales sobre 4 alternativas. La tabla 4.7 muestra las preferencias de todos los votantes. En la tabla 4.8 se observan los torneos de cada alternativa, acompañando esta tabla está el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 5).

Tabla 4.7: Preferencias de los votantes

4 Votantes	2 Votantes	3 Votantes	2 Votantes	1 Votante
A	C	C	D	D
B	B	D	A	B
C	D	A	B	C
D	A	B	C	A

Fuente: [17].

Tabla 4.8: Matriz por pares

	$N[*,A]$	$N[*,B]$	$N[*,C]$	$N[*,D]$
$N[A,*]$		9	6	4
$N[B,*]$	3		7	6
$N[C,*]$	6	5		9
$N[D,*]$	8	6	3	

$P[A,B] > P[B,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 4.

$P[C,A] > P[A,C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.

$P[D,A] > P[A,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 2.

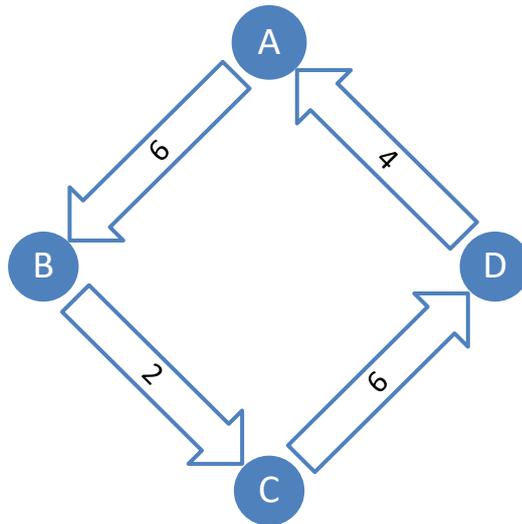
$P[C,B] > P[B,C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.

$P[D,B] > P[B,D]$ La alternativa vencedora es la D con una fuerza de 2.

$P[C,D] > P[D,C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 4.

El orden social es $C > D > A > B$. Por tanto, C es la vencedora por el método de Schulze.

Figura 5



Ahora, se supone que los dos votantes (marcados en cursiva) con las preferencias $C > B > D > A$ cambian sus preferencias sobre el par B y C. La tabla 4.9 muestra las preferencias de todos los votantes cambiando el orden de sus preferencias. En la tabla 4.10 se observan los torneos de cada alternativa, acompañando esta tabla está el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 6).

Tabla 4.9: Preferencias de los votantes cambiando las alternativas irrelevantes

4 Votantes	2 Votantes	3 Votantes	2 Votantes	1 Votante
A	<i>B</i>	C	D	D
B	<i>C</i>	D	A	B
C	<i>D</i>	A	B	C
D	<i>A</i>	B	C	A

$P[A,B] > P[B,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

$P[A,C] > P[C,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

$P[A,D] > P[D,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

$P[B,C] > P[C,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 2.

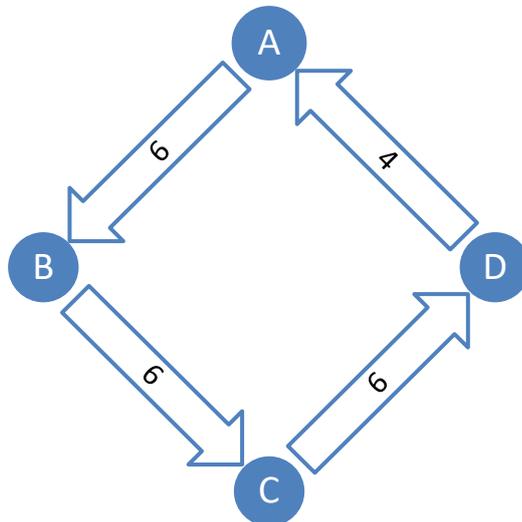
$P[B,D] > P[D,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 2.

$P[C,D] > P[D,C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.

Tabla 4.10: Matriz por pares cambiando las alternativas irrelevantes

	$N[^*,A]$	$N[^*,B]$	$N[^*,C]$	$N[^*,D]$
$N[A,^*]$		9	6	4
$N[B,^*]$	3		9	6
$N[C,^*]$	6	3		9
$N[D,^*]$	8	6	3	

Figura 6



El orden social es $A > B > C > D$. Por tanto, A es la vencedora por el método de Schulze.

En conclusión, al cambiar los votantes sus preferencias sobre B y C, cambiaron el orden de A y D en el orden social, convirtiendo A de perdedor en ganador sin ningún cambio en las preferencias de los votantes con respecto a A. Por tanto, el método de Schulze no satisface esta propiedad.

4.2.3 Consistencia

Un sistema de votación es *consistente* sí, cuando existen alternativas comunes entre las elegidas por dos grupos de votantes, la alternativa vencedora es la misma cuando se agrupa todo el electorado.

Ejemplo 7:

Existe un grupo de 39 votantes que tienen las siguientes ordenaciones lineales sobre 3 alternativas. Dividimos en dos a este grupo de votantes a través de una línea más gruesa. La tabla 4.11 muestra las preferencias de todos los votantes. La tabla 4.12 refleja las preferencias del primer grupo de votantes. En la siguiente tabla 4.13, se observan los torneos de cada alternativa del primer grupo de votantes, acompañando esta tabla está el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 7).

Tabla 4.11 Preferencias de todo el electorado

7 Votante	6 Votante	3 Votante	9 Votante	8 Votante	6 Votante
A	B	C	A	B	C
B	C	A	C	A	B
C	A	B	B	C	A

Fuente: [18].

Tabla 4.12: Preferencias del primer grupo de votantes

7 V	6 V	3 V
A	B	C
B	C	A
C	A	B

$P[A,B] > P[B,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

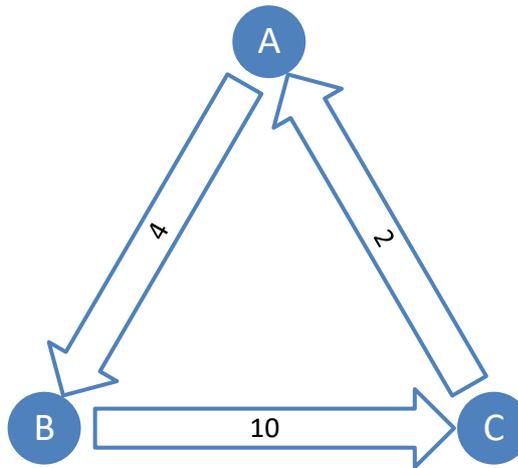
$P[A,C] > P[C,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

$P[B,C] > P[C,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 8.

Tabla 4.13: Matriz por pares del primer grupo de votantes

	N[* ,A]	N[* ,B]	N[* ,C]
N[A,*]		10	7
N[B,*]	6		13
N[C,*]	9	3	

Figura 7



El orden social del primer grupo de votantes es $A > B > C$. Por tanto, el vencedor por Schulze es la alternativa A.

La tabla 4.14 refleja las preferencias del segundo grupo de votantes. En la siguiente tabla 4.13, se observan los torneos de cada alternativa del segundo grupo de votantes, acompañando esta tabla está el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 8).

$P[A,B] > P[B,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 2.

$P[A,C] > P[C,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 6.

$P[C,B] > P[B,C]$ La alternativa vencedora es la C con una fuerza de 2.

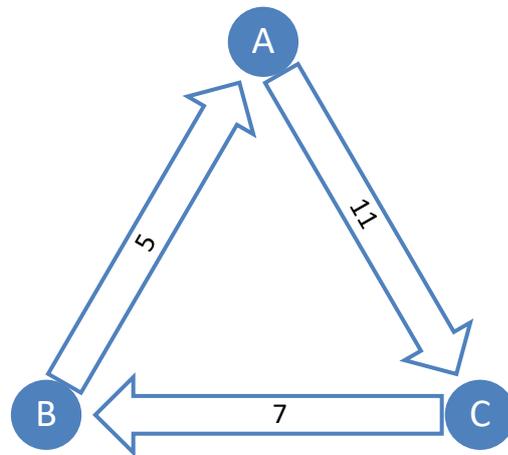
Tabla 4.14: Preferencias segundo grupo de votantes

9 V	8 V	6 V
A	B	C
C	A	B
B	C	A

Tabla 4.15: Matriz por pares segundo grupo de votantes

	$N[* ,A]$	$N[* ,B]$	$N[* ,C]$
$N[A,*]$		9	17
$N[B,*]$	14		8
$N[C,*]$	6	15	

Figura 8



El orden social para el segundo grupo de votantes es $A > C > B$. Por tanto, el vencedor por Schulze es A.

En la tabla 4.16 muestra los torneos de cada alternativa, acompañando esta tabla está el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 9).

Tabla 4.16: Matriz por pares de todos los votantes

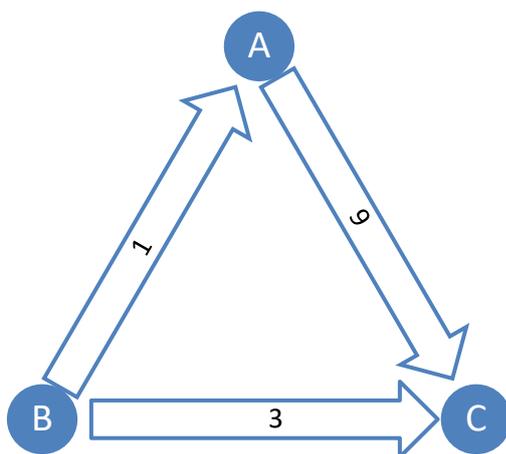
	N[* ,A]	N[* ,B]	N[* ,C]
N[A,*]		19	24
N[B,*]	20		21
N[C,*]	15	18	

$P[B,A] > P[A,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 1.

$P[A,C] > P[C,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 9.

$P[B,C] > P[C,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 3.

Figura 9



El orden social cuando votan todos los votantes es $B > A > C$. Por tanto, el ganador por Schulze es B.

El método de Schulze no satisface esta propiedad, ya que, tanto para el primer grupo como para el segundo grupo de votantes, selecciona como vencedora la alternativa A pero al agrupar todo el electorado la alternativa vencedora es la B.

5. APLICACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SILLA

Para la aplicación práctica de este trabajo se estudiará el caso del municipio de Silla situado en la Comunidad Valenciana. Silla posee alrededor de dieciséis mil ciudadanos censados en 2018. Desde el año 2015 gobierna una coalición de izquierdas formada por el Partido Socialista Obrero Español (PSOE) con 5 concejales, Compromis con 2 concejales, Esquerra Unida del País de Valencià (EUPV) con 1 concejal y Silla en Democracia con otro concejal. Actualmente el alcalde es el candidato del PSOE Vicente Zaragoza Alberola que sustituyó al anterior alcalde del Partido Popular (PP). Cabe destacar que en estas elecciones el PP fue la fuerza política que consiguió más votos, pero no logró los apoyos suficientes para poder gobernar. (Para ampliar información acerca de los resultados electorales en Silla en el año 2015 puede consultarse [19]).

5.1. Puesta en práctica del método

El partido político Podemos, posee una corriente interna llamada “Profundización Democrática” la cual trata mejorar los mecanismos de decisión conjunta y mejorar los sistemas de control y funcionamiento interno en términos de transparencia y separación de funciones, es decir, pretende garantizar la máxima participación territorial y de la militancia para incluir a más gente en la toma de decisiones. Además, “Profundización Democrática” de Podemos se encuentra ligada a diversos territorios como Murcia, Asturias, Aragón, Islas Baleares, Canarias y Comunidad Valenciana (a la que se dedica esta sección). Esta corriente ha influido activamente en la mejora de los sistemas de votación internos y logró que se aprobara el uso del método de Schulze en la Región de Murcia y en la Comunidad Valenciana.

Profundización Democrática impulsó la creación de estos órganos de gobierno en Podemos para la Comunidad Valenciana (véase [20] para más detalles):

- *La Asamblea Ciudadana Autonómica*, el máximo órgano de decisión en el ámbito autonómico siempre que no contravengan los principios

generales de Podemos ni las decisiones de una Asamblea Ciudadana de ámbito territorial superior. Está compuesta por todas las personas inscritas en Podemos dentro de la Comunidad Valenciana. Entre sus competencias están: definir los mecanismos de representación, participación y coordinación del ámbito comarcal y provincial, elegir y revocar cualquier cargo orgánico, decidir la fórmula política y jurídica en la que se concurre a los diferentes procesos electorales de su ámbito territorial, elaborar, mediante un proceso de primarias abiertas, con un sistema de voto preferencial recontado mediante Voto Único Trasferible⁶, VUT (véase [21] para más detalles), las listas electorales para optar a cargos públicos en las instituciones de representación de su respectivo ámbito territorial, entre otras.

- *El Consejo Ciudadano Autonómico*, el principal órgano de deliberación, propuesta y seguimiento. Se reúne cada tres meses.

- *La Portavocía General Autonómica*, el órgano que ejerce la representación política e institucional de Podemos en el territorio. Las candidaturas a Portavocía y 3 Vice-portavocías se presentarán en lista cerrada. Se designará a la lista de 4 personas que resulte ganadora como resultado de una elección con sistema de votación por ordenación preferencial mediante el método de Schulze.

- *El Equipo Ejecutivo*, el órgano ejecutivo de Podemos. Son las personas que se encargaran de dirigir el desarrollo del trabajo político y la organización y administración del partido.

- *La Mesa Ciudadana*, el órgano encargado de garantizar la transparencia, gestionar los procesos electorales y asamblearios, así como de atender a las propuestas, iniciativas y demandas de las personas inscritas en Podemos. Se eligen cada cuatro años y está

⁶ El VUT es un sistema de voto basado en un orden preferencial en el que el voto de un elector se le asigna inicialmente a su alternativa favorita, y si la alternativa hubiera sido ya elegida o eliminada, todos los votos sobrantes se transfieren según las preferencias seleccionadas por el votante.

compuesta por 12 personas elegidas por la Asamblea Ciudadana mediante Voto Único Transferible.

- *La Comisión de Garantías Democráticas Autonómica*, el órgano, imparcial e independiente, encargado de conocer y resolver cualquier violación de los derechos de las personas inscritas en Podemos en su territorio, y de velar por el cumplimiento de los principios fundamentales y las normas de funcionamiento de la organización de acuerdo con lo establecido en la normativa general y territorial de la organización.

En el municipio de Silla decidieron consultar a la ciudadanía acerca del destino final del dinero recaudado para ayudar a los refugiados sirios, el uso del centro cívico del parque de la Estación y la frecuencia de cambio de banda de estacionamiento en las calles del municipio, entre otras. Para ello, el Ayuntamiento de Silla realizó varias Encuestas Populares organizada por la concejalía de Participación Ciudadana que dirige Salvador Mestre⁷. En estas encuestas, los ciudadanos debían elegir, mediante un orden preferencial, las distintas alternativas propuestas para que, posteriormente, se seleccionase la vencedora a través del método de Schulze pudiendo dejar alternativas sin clasificar.

5.2. Réplica de resultado

En esta subsección, se replicará el resultado de la encuesta sobre el destino final del dinero recaudado para ayudar a los refugiados sirios del veinte de febrero de 2017. Esta Encuesta Popular tuvo una participación de 605 votantes y se componía de tres alternativas:

- A: Deseo que el dinero se destine a entidades españolas que ayudan a los pocos refugiados sirios que han llegado a España.
- B: Deseo que el dinero se destine a sostener los campos de refugiados instalados en los países en torno a Siria.

⁷ Salvador Mestre es el concejal de Transparencia, Comunidad y Participación en el Ayuntamiento de Silla (Valencia), director de Radio Politeia y Secretario General de Podemos Silla. Además, es Co-fundador de Profundización Democrática en Podemos.

- C: Deseo que el dinero se conserve en la cuenta del Ayuntamiento por si algún día acogemos refugiados en el pueblo.

A continuación, se replicará la encuesta a través del método de Schulze y, posteriormente, a través del sistema de Borda utilizando para ello el programa informático Ranked-ballot voting calculator [11]. En la tabla 5.1 se observan los torneos de cada alternativa. Véase [22] para conocer las votaciones y el resultado de la Encuesta Popular].

Tabla 5.1: Matriz por pares de todos los votantes

	N[* ,A]	N[* ,B]	N[* ,C]
N[A, *]		296	346
N[B, *]	309		355,5
N[C, *]	259	249,5	

Fuente: [22].

$N[B,A] = 309$ Porque B es preferible a A para 302 votantes y para 14 votantes estas alternativas son indiferentes.

$N[B,C] = 355,5$ Porque B es preferible a C para 347 votantes y para 17 votantes estas alternativas son indiferentes.

Posteriormente, se construye el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 10).

Se compara la fuerza de las alternativas a través de torneos para determinar la vencedora.

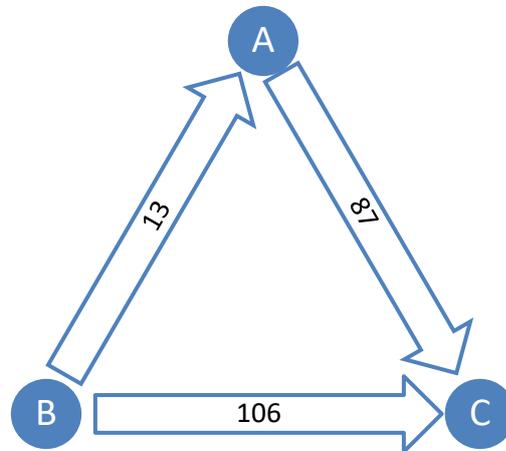
$P[B,A] > P[A,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 13.

$P[B,C] > P[C,B]$ La alternativa vencedora es la B con una fuerza de 106.

$P[A,C] > P[C,A]$ La alternativa vencedora es la A con una fuerza de 87.

Se observa claramente que la alternativa C es un perdedor absoluto ya que es vencida por el resto de alternativas.

Figura 10



Por tanto, la alternativa vencedora por Schulze es la alternativa B, la cual, también es ganadora de Condorcet. Los ciudadanos de Silla prefieren que el destino final del dinero recaudado sea para sostenimiento de los campos de refugiados instalados en los países en torno a Siria.

A continuación, se utilizará el método de Borda⁸ basado en reglas de puntuación tal y como está explicado en la sección dos del trabajo. Las puntuaciones de Borda son las siguientes:

$B(A) = 74$ Esta puntuación se debe a que A es preferido a B y C 631 veces (289 sobre B y 342 sobre C) pero B y C son preferidos a A 557 veces (302 sobre B y 255 sobre C).

$B(B) = 119$ Esta puntuación se debe a que B es preferido a A y C 649 veces (302 sobre A y 347 sobre C) pero A y C son preferidos a B 530 veces (289 sobre A y 241 sobre C).

⁸ El programa informático utiliza una definición de la regla de Borda diferente a la usual, que puede dar lugar a puntuaciones negativas.

$B(C) = -193$ Esta puntuación se debe a que C es preferido a A y B 496 veces (255 sobre A y 241 sobre B) pero A y B son preferidos a C 689 veces (342 sobre A y 347 sobre B).

En esta Encuesta Popular ambos métodos de votación seleccionan a la alternativa B, deseo que el dinero se destine a sostener los campos de refugiados instalados en los países en torno a Siria, como vencedora. No obstante, como Borda no satisface la propiedad de la consistencia de Condorcet pudiera no dar el mismo resultado.

5.3. Cuestionario a Salvador Mestre Zaragoza

Se ha realizado una breve entrevista a Salvador Mestre debido a que como Concejal de Transparencia, Comunidad y Participación en el municipio de Silla, ha impulsado el uso del método de Schulze en varias Encuestas Populares en dicho municipio.

- 1. Por tu currículum sé que tienes formación en humanidades (Filosofía y Música). ¿Cómo te llegaste a interesar por la política? Una vez en ella, en tu calidad de concejal de Transparencia, Comunidad y Participación por Podemos en el Ayuntamiento de Silla, ¿Por qué te llegaste a interesar por los métodos de votación?*

Tras dedicar muchos años al estudio, me adentré en el mundo empresarial en el sector de las energías renovables. Eso me dio una amplia perspectiva de cómo funciona el sistema económico, bancario, productivo y legislativo-normativo. Posteriormente, fui fundador de la Comisión de Teoría Política de la Plaza 15M de Valencia. Ahí, en el movimiento 15M, colaboré activamente en ese espacio socialmente disruptivo donde muchos de nosotros nos repolitizamos al margen de los usuales ámbitos partidistas. Luego surgió Podemos como un nuevo ámbito de organización política con la aspiración de integrar toda esa energía quincemayista, digamos horizontal, en un impulso digamos

vertical de asalto institucional. De ahí al ámbito municipal hubo apenas un paso, dada la importancia del municipalismo en la conformación de un nuevo horizonte de posibilidades de renovación política prácticamente inconcebibles antes del 15M. En Silla había un grupo de personas comprometidas con ese nuevo espíritu y nos juntamos para configurar una iniciativa ciudadanista y transversal para abordar la institución local con un proyecto de renovación marcadamente democrático. Los sistemas de votación son un elemento más dentro de esa visión de renovación democrática, dado que tienen importancia en el desarrollo de las dinámicas participativas y de los procesos de decisión colectiva. Cuidando de aplicar mecanismos de voto lo más democráticos posible se favorece una democracia profunda y auténtica.

2. *Actualmente existen muchos métodos de votación más conocidos, con más reputación y mejor implantados en la sociedad que el método de Schulze. ¿Por qué os decantasteis por este procedimiento de votación y no otro más consolidado?*

Sencillamente porque es el sistema de votación más democrático que existe cuando hay que elegir una sola opción de entre un universo de opciones posibles mayor de 2. Esto es una realidad politológicamente obvia y evidente. Es un hecho incontestable.

3. *¿Conoces el sistema de votación Desborda propuesto por Pablo Echenique? ¿Qué opinas de este método?*

Es una corrección del sistema Borda para hacerlo fuertemente mayoritario. Soy fundador y director de Radio Politeia, un podcast de teoría política con talante divulgativo donde, en su momento, dedicamos un programa a analizar dicho sistema. Lo que básicamente logra el Desborda es traducir el llamado “efecto lista”, sociológicamente inevitable, en un factor de distorsión mayoritario en el resultado final. Con la modificación Desborda, se logra que un sistema preferencial genere una dinámica bipartidista.

4. *¿Usáis el método de Schulze en otros tipos de ámbitos aparte del de la política local (por ejemplo, en la política interna de partido)?*

Soy co-fundador y miembro de Profundización Democrática, quienes nos consideramos la expresión interna en Podemos de un *think tank* democratista integrado por múltiples personas provenientes de distintos espectros ideológicos y políticos. Desde “Profundización Democrática” hemos influido activamente en la mejora de los sistemas de votación internos y logramos que se aprobara el uso del Condorcet-Schulze en la Región de Murcia y en la Comunidad Valenciana.

5. *En 2016 habéis realizado varias Encuestas Populares con una gran participación empleando este método de votación. ¿Cómo habéis conseguido informar a la ciudadanía sobre este sistema a priori tan complicado?*

Es innecesario que la gente entienda el sistema de recuento para comprender la mecánica de voto. Son dos cosas distintas. La mayor parte de la gente vota en las elecciones generales sin entender lo más mínimo cómo funciona d'Hondt. Y la mecánica de voto en Condorcet-Schulze, como en todos los sistemas de voto preferencial (Borda y variantes, VUT...) es muy sencilla: se trata de ordenar preferencialmente todas las opciones existentes. Ordenar las opciones por orden de preferencia es algo que resulta completamente intuitivo y sencillo para todo el mundo. A tal efecto, basta con indicar en la papeleta de voto “ordena tus opciones por orden de preferencia donde 1 es lo más preferido y n lo menos preferido” o algo similar (donde n es el número total de opciones). Así lo hicimos y el % de votos nulos fue estadísticamente irrelevante con respecto a otros sistemas de voto. Es decir, que empíricamente se demostró que la gente no tuvo especiales problemas en votar con la mecánica de voto propia de un sistema de voto preferencial.

6. *¿Cómo ejerció el voto la ciudadanía si este método se basa en un orden de preferencias? ¿Hace falta internet o habéis empleado el medio de siempre (papel)?*

Se pudo votar tanto por internet como presencialmente en papel. Basta con poner números delante de cada una de las opciones, donde 1 es lo más preferido y n lo menos preferido (donde n es el número total de opciones).

7. *¿Qué protocolo habéis utilizado para evitar que la gente vote más de una vez?*

Centralizando la base de datos electrónicamente. Quien asistía a votar presencialmente era tachado por un funcionario en la base de datos electrónica. Así, tanto si votabas presencialmente como electrónicamente solo podías ejercer el voto una vez. Posteriormente, se recuentan las papeletas presenciales y son introducidas a su vez en el sistema electrónico rellenando papeletas electrónicas de modo que todos los votos quedan finalmente centralizados para el cálculo electrónico del resultado.

8. *¿Cómo se asegura el anonimato de los votantes?*

No hay trazabilidad entre el DNI y la papeleta emitida, tal como sucede en el voto presencial al que estamos acostumbrados en las elecciones generales estatales. Esto garantiza por completo el anonimato.

9. *Uno de los inconvenientes del método de Schulze es su complejidad computacional. ¿Habéis utilizado algún tipo de programa informático para determinar el ganador de Schulze? ¿Este software es libre? ¿Esos datos se pueden replicar?*

Sí. Software libre disponible en Internet. Los datos pueden replicarse porque en el momento de publicar los resultados se publica también tanto la herramienta de recuento como la plantilla de votaciones.

10. *¿Piensas que es necesaria una reforma electoral del método de votación para constituir el Congreso de Diputados y el Senado a nivel nacional? ¿O a nivel local para constituir los Ayuntamientos?*

Absolutamente. Hay, además, soluciones imaginativas con respecto al congreso que no requerirían tocar la Constitución para lograr un sistema electoral muy proporcional y justo con la voluntad de los votantes que evitase la corrección mayoritaria del actual sistema diseñado deliberadamente para provocar artificialmente un bipartidismo. Con respecto al senado, me gusta mucho la idea de convertirlo en una cámara de control ciudadana sorteada con atribuciones de control y veto sobre el congreso. El ayuntamiento es una cuestión más compleja de abordar a corto plazo, por varios motivos (legislativos y sociodemográficos).

6. SCHULZE, COMO ALTERNATIVA EN POLITICA NACIONAL

Existen personas que piensan que este sistema de votación podría aplicarse para las elecciones generales de nuestro país. En esta sección se simulará el resultado que arrojaría el método de Schulze con los datos de la última convocatoria realizada en España, bajo algunos supuestos que se detallan a continuación.

En las elecciones generales de junio de 2016, el partido político que más votos obtuvo fue el Partido Popular (PP) con 7.906.185 votos, el segundo fue el Partido Socialista Obrero Español (PSOE) con 5.424.709 votos, seguido por Unidos Podemos (UP) con 5.049.734 votos y por último Ciudadanos (C) con 3.123.769 votos. Véase [23] para obtener más información acerca de las elecciones generales de junio del 2018.

Para esta simulación se supondrá una sola circunscripción, se omitirán los partidos políticos pequeños, que España tuviera un sistema de gobierno presidencialista y que se eligiera al presidente del gobierno de la misma forma que se elige al presidente de la república (como en el caso de Francia).

El método de Schulze se basa en un orden de preferencias, por tanto, los votantes de PP, PSOE, Unidos Podemos y Ciudadanos se supondrá que tendrán las siguientes preferencias:

- Los votantes del PP poseen/seguirán este orden preferencial: PP > Ciudadanos > PSOE > Unidos Podemos.
- Los votantes del PSOE poseen/seguirán este orden preferencial: PSOE > Unidos Podemos > Ciudadanos > PP.
- Los votantes de Unidos Podemos poseen/seguirán este orden preferencial: Unidos Podemos > PSOE > Ciudadanos > PP.
- Los votantes del Ciudadanos poseen/seguirán este orden preferencial: Ciudadanos > PP > PSOE > Unidos Podemos.

Para replicar los datos de estas elecciones generales se ha utilizado el programa informático Ranked-ballot voting calculator [11]. En la tabla 3.2 se observan los torneos de cada alternativa, acompañando esta tabla está el grafo en el cual se representa la fuerza mínima de los caminos de las alternativas (Figura 11).

Tabla 3.2: Matriz por pares

	N[* ,PP]	N[* ,PSOE]	N[* ,UP]	N[* ,C]
N[PP,*]		11029954	11029954	7906185
N[PSOE,*]	10474443		16454663	10474443
N[UP,*]	10474443	5049734		10474443
N[C,*]	13598212	11029954	11029954	

Fuente: Elaboración propia.

$P[PP,PSOE] > P[B,PSOE]$ La alternativa vencedora es el Partido Popular con una fuerza de 555511.

$P[PP,UP] > P[UP,PP]$ La alternativa vencedora es el Partido Popular con una fuerza de 555511.

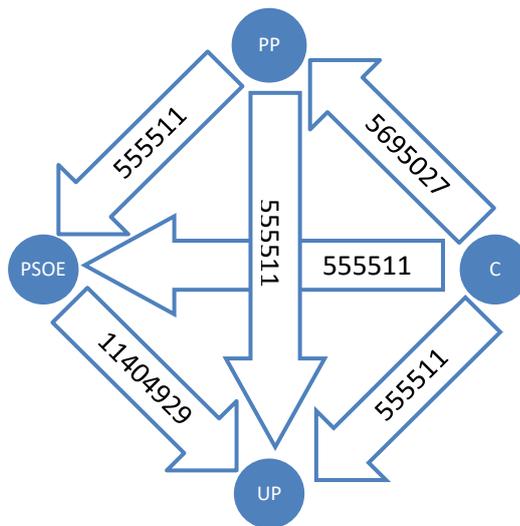
$P[C,PP] > P[PP,C]$ La alternativa vencedora es Ciudadanos con una fuerza de 5695027.

$P[PSOE,UP] > P[UP,PSOE]$ La alternativa vencedora es el PSOE con una fuerza de 11404929.

$P[C,PSOE] > P[PSOE,C]$ La alternativa vencedora es Ciudadanos con una fuerza de 555511.

$P[C,UP] > P[UP,C]$ La alternativa vencedora es Ciudadanos con una fuerza de 555511.

Figura 11



La alternativa vencedora por el método de Schulze es Ciudadanos, además, esa alternativa también es la ganadora de Condorcet. Ciudadanos fue la alternativa que menos votos obtuvo en las elecciones del año 2016, sin embargo, el sistema de Schulze le ha seleccionado como ganador. Unidos Podemos sería un perdedor absoluto ya que es vencido por todas las demás alternativas.

El orden social por el método de Schulze sería: Ciudadanos > Partido Popular > PSOE > Unidos Podemos.

7. CONCLUSIONES

El método de Schulze es uno de los sistemas de votación que más y mejores propiedades tienen dentro de la Teoría de la Elección Social como el criterio de la mayoría, independencia de los clones o inmunidad a la paradoja de perdedor absoluto, entre otras. Este sistema de votación selecciona como única alternativa vencedora a la ganadora de Condorcet si esta existe. Cuando no existe una alternativa ganadora de Condorcet, este sistema de votación puede seleccionar como vencedora la misma alternativa que otro método de votación incluso los pertenecientes a la teoría del voto posicional, es decir, los sistemas de votación caracterizados por usar reglas de puntuación como el método de Borda. En la tabla 7.1 se comparará las propiedades del método de Schulze y del de Borda.

El teorema de la imposibilidad de Arrow [1] establece que no existe ningún sistema de votación perfecto, es decir, que permita generalizar las preferencias de los individuos hacia una “preferencia social” de toda la comunidad, de tal manera que, de forma simultánea, se cumplan ciertos criterios de racionalidad y valores democráticos que, a su vez, satisfagan las buenas propiedades de los métodos de votación. En otras palabras, no se puede conseguir simultáneamente lo mejor de los dos “mundos” posicional y no posicional.

El problema del método de Schulze es su complejidad computacional, lo que provoca que al ciudadano de a pie, es decir, no académico, le resulte muy complicado entenderlo y pierda rápidamente el interés. Aunque, realmente, la información solicitada al ciudadano no le supone ninguna complicación, ya que simplemente tiene que ordenar las distintas alternativas según su preferencia, pudiendo dejar alternativas sin clasificar. Cabe señalar por otra parte, que los mismos requerimientos se necesitarían para implementar la regla de Borda

Tabla 7.1: Comparación entre el método de Schulze y la regla de Borda

Propiedades	Schulze	Borda
<i>Dificultad de entendimiento</i>	Difícil	Fácil
<i>Complejidad computacional</i>	Mucha	Poca
<i>Consistencia de Condorcet</i>	Si	No
<i>Principio débil de Pareto</i>	Si	Si
<i>Monotonía</i>	Si	Si
<i>Simetría</i>	Si	Sí
<i>Criterio de la mayoría</i>	Si	No
<i>Paradoja de la abstención</i>	Vulnerable	Inmune
<i>Independencia de alternativas irrelevantes</i>	No	No
<i>Consistencia</i>	NO	Si
<i>Paradoja de perdedor absoluto</i>	Inmune	Inmune

Fuente: Elaboración propia a partir de [14].

En la práctica, este sistema de votación se emplea en pequeños comités, en la organización interna de distintos partidos políticos para seleccionar a sus representantes en sus congresos o para realizar encuestas ciudadanas, tal y como sucede en el municipio de Silla.

Dentro de la Teoría de la Elección Social las votaciones se pueden realizar con grandes electorados (millones de personas) o con pequeños electorados (comités, compromisarios y afiliados de partidos políticos en elecciones primarias, juntas ejecutivas de organizaciones, elecciones a rector, etc). A su vez, dentro de estas dos categorías hay que distinguir entre numerosas

alternativas elegibles frente a un número razonable de ellas (en psicología se acepta que un agente puede ordenar o comparar conjuntamente sin problemas hasta cinco o como mucho siete alternativas). Consideramos que el contexto idóneo para implementar el método de Schulze corresponde a pequeños electorados en este último caso.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Wikipedia.org. (2017): *Paradoja de Arrow*. [online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Paradoja_de_Arrow [Consulta: 02/03/2018].

[2] Gärdenfors, P. (1973): "Positionalist voting functions", *Theory and Decision*, nº 4, pp.1-2.

[3] Wikipedia.org. (2017): *Condorcet criterion*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Condorcet_criterion [Consulta: 12/11/2017].

[4] Instituto De Borda. (1997): *The de Borda Institute*. [online] Disponible en: <http://www.deborda.org/> [Consulta: 16/11/2017].

[5] Condorcet vote: *Condorcet voting system*. [online] Disponible en: <https://www.condorcet.vote/> [Consulta: 16/11/2017].

[6] Schulze, M. (1997): *Condorect sub-cycle rule*. [online] Lists.electorama.com. Disponible en: <http://lists.electorama.com/pipermail/election-methods-electorama.com/1997-October/001545.html> [Consulta: 22/11/2017].

[7] Wikipedia.org. (2017): *Schulze method*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Schulze_method [Consulta: 16/10/2017].

[8] Schulze, M. (2010): "A new monotonic, clone-independent, reversal symmetric, and condorcet-consistent single-winner election method", *Social Choice and Welfare*, 36(2), pp.267-303.

[9] Börgers, C. (2010): *Mathematics of social choice*. SIAM, Philadelphia.

[10] Schulze, M. (2017): *Condorcet/Schulze Voting in Single-Winner Districts*. [online] Disponible en: <https://tinyurl.com/y75633k7> [Consulta: 17/10/2017].

[11] Ranked ballot voting calculator: *Ranked-ballot voting calculator*. [online] Disponible en: <http://www1.cse.wustl.edu/~legrand/rbvote/calc.html> [Consulta: 20/11/2017].

[12] Myers, A. (2003): *Condorcet Internet Voting Service*. [online]. Disponible en: <https://civs.cs.cornell.edu/> [Consulta: 20/11/2017].

[13] Felsenthal, D. and Machover, M. (2012). *Electoral systems*. Springer.

[14] Wikipedia.org. (2017): *Comparison of electoral systems*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_electoral_systems [Consulta: 08/12/2017].

[15] Wikipedia.org. (2017): *Independence of clones criterion*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Independence_of_clones_criterion [Consulta: 12/01/2018].

[16] Wikipedia.org. (2018): *Participation criterion*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Participation_criterion [Consulta: 12/01/2018].

[17] Wikipedia.org. (2018): *Independence of irrelevant alternatives*. [online] Disponible en: <https://tinyurl.com/ybgbomal> [Consulta: 12/01/2018].

[18] Wikipedia.org. (2018): *Consistency criterion*. [online] Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Consistency_criterion [Consulta: 12/01/2018].

[19] El País. (2015): *Resultados Electorales en Silla: Elecciones Municipales 2015*. [online] Disponible en: <https://tinyurl.com/y8x3c7ba> [Consulta: 13/02/2018].

[20] Olmos, P., Mestre, S., Escrig, M., Mercader, R. y Prado, D. (2017): *Profundización Democrática*. [online] Profundizaciondemocratica.org. Disponible en: <https://tinyurl.com/ybk6653w> [Consulta:13/02/2018].

[21] Wikipedia.org. (2018): *Voto único transferible*. [online] Disponible en: <https://tinyurl.com/y7e5h3y4> [Consulta: 07/02/2018].

[22] Ajuntament de Silla. (2017): *Resultats Silla Participa: Refugiats sirians, freqüència canvi estacionament i ratificació ús centre cívic*. [online] Disponible en: <http://sillaparticipa.com/> [Consulta 20/02/2018].

[23] El País. (2016): *Resultados Electorales en Total España: Elecciones Generales 2016*. [online] Disponible en: <https://tinyurl.com/y7n9rsoy> [Consulta: 22/05/2018].