



DEPARTAMENTO  
DE COMPUTACION

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

# Sistemas de ecuaciones lineales

21 de septiembre de 2020

Métodos numéricos

Integrante	LU	Correo electrónico
Florencia Zanollo	934/11	florenciazanollo@gmail.com
Luis García Gómez	675/13	garciagomezluis.94@gmail.com



**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**  
Universidad de Buenos Aires

Ciudad Universitaria - Pabellón I

Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA

Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

Tel/Fax: (54 11) 4576-3359

<http://exactas.uba.ar>

## Sistemas de ecuaciones lineales

Poner aca el abstract (menos de 200 palabras).

**Palabras claves:** Eliminación Gaussiana, Ranking, Colley Matrix Method, Ecuaciones Lineales.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Desarrollo</b>	<b>5</b>
<b>3. Experimentación</b>	<b>6</b>
3.1. Error absoluto . . . . .	6
3.2. Análisis cualitativo . . . . .	7
3.2.1. Planteo de casos . . . . .	7
3.2.2. ¿Qué podemos decir sobre CMM en base a las observaciones? . . . . .	10
3.2.3. Interpretación del sistema $Cr = b$ y una explicación a las observaciones . . . . .	10
3.2.4. Una estrategia avanzar en el ranking minimizando la cantidad de partidos . . . . .	11
3.2.5. ¿Es CMM un método justo? . . . . .	11
<b>4. Conclusiones</b>	<b>12</b>

## 1. Introducción

## 2. Desarrollo

### 3. Experimentación

En esta sección vamos a presentar, explicar y mostrar resultados de cada uno de los experimentos considerados.

#### 3.1. Error absoluto

Como se explicó en [ref a desarrollo o intro] debido a la aritmética finita de la computadora las operaciones pueden llegar a ser muy inestables [1].

Un pequeño ejemplo:

$$\begin{pmatrix} 5 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 4 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 5 & -2 \\ -1 & -1 & -2 & 6 \end{pmatrix}$$

Luego de correr EG debería quedar:

$$\begin{pmatrix} 5 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & \frac{19}{5} & -\frac{1}{5} & -\frac{6}{5} \\ 0 & 0 & \frac{91}{19} & -\frac{43}{19} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{396}{91} \end{pmatrix}$$

Pero por culpa de la falta de precisión de los double queda:

$$\begin{pmatrix} 5 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 3,8 & -0,2 & -1,2 \\ 0 & 0 & 4,78947 & -2,26316 \\ 0 & 0 & 0 & 4,35165 \end{pmatrix}$$

Se puede ver que  $\frac{396}{91} \cong 4,351648352$  teniendo una diferencia de 0,00000165 con 4,35165. Difieren poco pero es un caso chico, este error se podría repetir y acarrear terminando en un valor en esa posición muy diferente al esperado, afectando así el ranking final.

Para ver esto realizamos dos tipos de experimentos, por un lado reutilizamos el batch de tests de la cátedra para ver cuales son las características del error absoluto en un caso promedio.

Por el otro construimos una serie de partidos ficticios con el propósito de que la matriz quede con valores no múltiplos en su diagonal, posiblemente este no sea el peor caso de error pero suponemos que es suficientemente malo. Para calcular el error absoluto, ya que no contamos con el valor esperado, utilizamos la factorización de Cholesky ya que es más estable. Cabe destacar que este método se puede aplicar ya que la matriz resulta simétrica y definida positiva[2].

### 3.2. Análisis cualitativo

El objetivo de esta sección es plantear y responder preguntas que nos lleven a entender mejor CMM y a encontrar ventajas y desventajas del mismo. Para ello primeramente propondremos casos pequeños, que no necesariamente representen casos de competencias reales.

#### 3.2.1. Planteo de casos

##### Caso 1

Se inicia un sistema con dos equipos: 1, y 2, con un único partido entre ellos: 1 vs 2 a favor de 1.

**Pregunta:** ¿Qué pasará con los ratings? ¿Hay alguna relación entre ellos?

Posición	Equipo	Rating
1	1	0.625
2	2	0.375

Cuadro 1: Ranking CMM luego de iniciar un partido 1 vs 2, a favor de 1

**Observación:** Acorde a la *Regla de Laplace de sucesos* utilizar el estimador planteado por la misma nos permite que no hayan cambios abruptos en la resolución de los ratings de los equipos involucrados.

##### Caso 2

Sobre el sistema anterior: se agregan cinco partidos a favor de 1.

**Pregunta:** ¿Qué pasará con los ratings? ¿Hay alguna relación entre ellos?

Posición	Equipo	Rating
1	1	0.714286
2	2	0.285714

Cuadro 2: Ranking CMM luego de cinco partidos 1 vs 2, a favor de 1

**Observación:** Los ratings se ajustan acorde a los resultados de los partidos. Como vimos hasta ahora, los mismos dependen de la cantidad de partidos que hayan entre los equipos competidores.

##### Caso 3

Sobre el sistema anterior: se suma un equipo, 3. 3 vs 2 a favor de 3.

**Pregunta:** ¿Será mejor el rating de 3 que el de 2?

Posición	Equipo	Rating
1	1	0.68
2	3	0.58
3	2	0.24

Cuadro 3: Ranking CMM luego de introducir a 3 y agregar un partido a favor de 3

**Observación:** Después de 3 vs 2 a favor de 3, 3 supera fácilmente a 2 modificando sus posiciones. El rating de 2 desciende esperadamente, pero el de 1 también aunque sigue manteniendo su posición. Al no estar 1 involucrado en este partido, vemos que CMM afecta el rating (y tal vez el ranking) de equipos que no formaron parte del partido.

#### Caso 4

Sobre el sistema anterior: se agregan diez partidos, 3 vs 2 a favor de 3.

**Pregunta:** ¿Se acercará el rating de 3 al rating de 1?

Posición	Equipo	Rating
1	3	0.662963
2	1	0.644444
3	2	0.192593

Cuadro 4: Ranking CMM luego de agregar diez partidos a favor de 3

**Observación:** En este caso se ve que CMM permite alterar no solo el rating, si no la posición de los equipos, ya que 3 vs 1 nunca tuvo lugar. Esto de alguna forma nos habla de "la justicia del método": ¿es justo que 1 descienda si nunca se enfrentó con 3?. Claramente la relación entre ambos equipos viene dada por los partidos que tuvieron de forma separada con 2. 1 vs 2 se dio hasta ahora seis veces mientras que 3 vs 2 se dio hasta ahora once veces.

#### Caso 5

Sobre el sistema anterior: se agregan cinco partidos, 1 vs 2 a favor de 1.

**Pregunta:** Si la relación entre 1 y 3 es intermediada por la cantidad de partidos que ambos ganaron a 2, ¿será cierto que ambos tendrán el mismo rating si igualan la cantidad de partidos con 2?

Posición	Equipo	Rating
1	1	0.657143
1	3	0.657143
2	2	0.185714

Cuadro 5: Ranking CMM luego de que 1 y 3 obtengan la misma configuración de partidos

**Observación:** En este caso se ve que a igual cantidad de partidos ganados de 1 y 3 vs 2, se obtiene el mismo rating.

#### Caso 6

Sobre el sistema anterior: se suma un equipo, 4. 4 vs 3 a favor de 4.

**Pregunta:** ¿Qué pasará si un nuevo equipo tiene un partido contra el equipo que está en la primera posición?

Posición	Equipo	Rating
1	4	0.692159
2	1	0.606041
3	3	0.576478
4	2	0.125321

Cuadro 6: Ranking CMM luego de agregar al sistema anterior un nuevo equipo con un partido a favor

**Observación:** En un solo partido, 4 llegó a la primera posición. Se puede explicar que 1 haya quedado por arriba de 3 ya que la configuración de partidos jugados es un factor que está presente en CMM: 4 vs 3 deja a 3 con un partido más, pero perdido, a diferencia de 1 que no sumó partidos.



## Caso 7

Sobre el sistema anterior: se agregan cien partidos, 2 vs 3 a favor de 2.

**Pregunta:** ¿Puede alcanzar 2 las primeras posiciones si gana partidos contra los equipos de las últimas posiciones?

Posición	Equipo	Rating
1	1	0.905919
2	4	0.52859
3	2	0.479722
4	3	0.0857696

Cuadro 7: Ranking CMM luego de agregar cien partidos a favor de 2

**Observación:** Se observa que por un lado 2 y 3 intercambiaron posiciones, lo que muestra que, aunque los ajustes de rating se haga con cada partido, los máximos valores que pueden tener se ven limitados a los valores de los equipos que se enfrentaron. Por otro lado 1 y 4 intercambiaron lugares también: esto puede deberse a que hasta este momento 3 y 4 se enfrentaron en una ocasión a favor de 4, es probable que su caída en el puesto sea debido a la caída de 3 (su victoria se desprestigia).

## Caso 8

Sobre el sistema anterior: se agregan tantos partidos como sea necesario para desplazar a 1 de la primera posición, 3 vs 1 a favor de 3.

**Pregunta:** Estando 3 en la última posición, ¿se podrá desplazar a 1 de la primera posición en pocos partidos?

Posición	Equipo	Rating
1	2	0.597924
2	4	0.583805
3	1	0.566854
4	3	0.251416

Cuadro 8: Ranking CMM luego de siete partidos 3 vs 1 a favor de 3

**Observación:** En siete partidos, 3 fue capaz mediante CMM de que 2 reemplazara a 1 en el primer lugar. ¿Por qué 2 y no 4? Es probable que sea debido a la cantidad de partidos 1 vs 2 que se hayan dado.

## Caso 9

Sobre el sistema del caso 7: se agregan tantos partidos como sea necesario para desplazar a 1 de la primera posición, 3 vs 2 a favor de 3.

**Pregunta:** Estando 3 en la última posición, ¿se podrá desplazar a 1 de la primera posición en pocos partidos?

Posición	Equipo	Rating
1	1	0.858055
2	4	0.554697
3	2	0.423156
4	3	0.164091

Cuadro 9: Ranking CMM luego de veinte partidos 3 vs 1 a favor de 3

**Observación:** En veinte partidos, 3 aún no fue capaz mediante CMM de que un equipo reemplazara a 1 en el primer lugar.

### 3.2.2. ¿Qué podemos decir sobre CMM en base a las observaciones?

Estos ejemplos sencillos nos permitieron entender un poco más CMM a la hora de rankear equipos.

Desde el caso 1 al caso 5, probamos introducir un equipo y hacerlo avanzar compitiendo con el equipo de la última posición. Vimos que puede alcanzar un mejor puesto en el ranking tratando de obtener una configuración similar a la de los equipos que están en la posición deseada, lo cual es esperado para un ranking en general. Vimos también que el resultado de un partido influye sobre otros equipos mediante una "transitividad" (caso 4).

Desde el caso 6 al caso 9, queríamos hacer foco en como un equipo puede avanzar en la tabla. Ingresamos un participante más a nuestro sistema, dejando un total de cuatro y volviendolo un poco más complejo, corroboramos que los equipos son susceptibles a cambios en su rating si algún equipo con el que tuvo relación tiene un partido. Por otra parte, notamos que un equipo en la tabla avanza más lento conforme se enfrenta a equipos que están en las últimas posiciones y más rápido conforme se enfrenta a otros que está en las primeras:

- en el caso 7: 3 vs 2, favor a 3. Después de cien partidos 2 había avanzado una posición.
- en el caso 8: 3 vs 1, favor a 3. En siete partidos se logra que 2 desplace a 1.
- en el caso 9: 3 vs 2, favor a 3. En veinte partidos no se logró mover a 1 del primer lugar.

Tiene sentido esto último ya que tal vez pueda considerarse que no hay suficiente mérito en vencer a equipos que están en las últimas posiciones.

### 3.2.3. Interpretación del sistema $Cr = b$ y una explicación a las observaciones

Como se desarrolla en [ref colley], la solución al sistema  $Cr = b$  son los ratings de los equipos involucrados en la competencia. Saliendo de su expresión matricial, obtenemos que para un equipo  $e_i \in \{e_1, \dots, e_n\}$ :

$$r_i = \frac{1 + \frac{w_i - l_i}{2} + \sum_{j=1, j \neq i}^n n_{i,j} * r_j}{2 + n_i} \quad (1)$$

donde para  $e_k$ :

- $r_k$  es el rating buscado
- $w_k$  es la cantidad de partidos ganados
- $l_k$  es la cantidad de partidos perdidos
- $n_k$  es la cantidad de partidos jugados
- $n_{k,l}$  es la cantidad de partidos jugados entre  $e_k$  y  $e_l$

La primera observación que podemos hacer es que conforme aumente la cantidad de partidos, **el denominador principal aumenta**, con lo cual  $r_i$  **se vuelve más pequeño**.

En segundo lugar, hay dos términos en el numerador principal que contribuyen a aumentar o disminuir  $r_i$ :

- $\frac{w_i - l_i}{2}$ : Alcanza su valor más alto cuando se ganan todos los partidos, contrariamente, es muy desventajoso si se pierden más partidos de los que se ganan dado que se vuelve negativo. En general, del numerador principal, representa la mayor parte del valor de  $r_i$ . Observemos también que a medida que este valor cambia, el denominador principal aumenta, por lo que la **ventaja máxima se encuentra ganando partidos**.
- $\sum_{j=1, j \neq i}^n n_{i,j} * r_j$ : Es una suma en la que cada en cada término se encuentra la cantidad de partidos disputados entre  $e_i$  y  $e_j$  ponderado por  $r_j$ . Cada término de la suma **aporta tanto como  $n_{i,j}$  cuando  $r_j$  tiene un valor cercano 1 y aporta menos cuando el mismo tiene un valor cercano a 0**.

Esto nos permite explicar el caracter "transitivo" de CMM: partidos de equipos con los que  $e_i$  haya jugado impactarán en uno de los términos de la última sumatoria vista de forma proporcional a la cantidad de partidos disputados entre  $e_i$  y el equipo en cuestión.

### 3.2.4. Una estrategia avanzar en el ranking minimizando la cantidad de partidos

En base a la interpretación anterior, podemos sacar ventaja de CMM si:

- Se compensa la relación entre los términos  $(2 + n_i)$  y  $\frac{w_i - l_i}{2}$  para evitar que  $r_i$  disminuya. Esto se logra manteniendo al máximo la cantidad de partidos ganados.
- De ser posible, jugar menos partidos que los demás equipos.
- Teniendo en cuenta el caracter transitivo mencionado previamente, jugar uniformemente con equipos que tengan bajo rating (dado que la probabilidad de ganarles es mayor) una cantidad considerable de partidos, mientras más, mejor. También se puede jugar siempre con un mismo equipo de rating bajo, pero la posibilidad de encontrar una ventaja se limita a que tan bien le vaya a ese único equipo.

### 3.2.5. ¿Es CMM un método justo?

Puede pasar que el rating de un equipo se vea afectado por una partida en la que no estuvo involucrado.

Sabemos que de poder elegir contra quien jugar y cuantos partidos un equipo puede plantear una estrategia para subir su rating sin haber jugado.

En el caso 9 presentado en la sección anterior. se observa que si un equipo que está en las últimas posiciones quiere llegar al primer lugar, es difícil que lo haga ganando partidas con equipos que están en posiciones más bajas o bien que no tienen relación alguna con los equipos que están por encima del que quiere subir. Aún después de haber jugado, como en ese caso más de veinte partidos.

En base a estas cosas, podría calificarse a CMM como un método **no justo, de no tener la competencia reglas claras** que determinen la forma de juego, asegurando que no se puedan incurrir en tales estrategias o asegurando que todos jueguen contra todos.

## 4. Conclusiones

## Referencias

- [1] David Goldberg. What every computer scientist should know about floating-point arithmetic. 1991.
- [2] Wesley N. Colley. Colley's bias free college football ranking method: The colley matrix explained.