

# Apunte Único: Álgebra Lineal Computacional - Práctica 7

Por alumnos de ALC  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
UBA

última actualización 29/07/25 @ 03:01

*Choose your destiny:*


(click click 🔍 en el ejercicio para saltar)

⊙ [Notas teóricas](#)

⊙ Ejercicios de la guía:

<a href="#">1.</a>	<a href="#">3.</a>	<a href="#">5.</a>	<a href="#">7.</a>	<a href="#">9.</a>	<a href="#">11.</a>	<a href="#">13.</a>	<a href="#">15.</a>
<a href="#">2.</a>	<a href="#">4.</a>	<a href="#">6.</a>	<a href="#">8.</a>	<a href="#">10.</a>	<a href="#">12.</a>	<a href="#">14.</a>	<a href="#">16.</a>

⊙ Ejercicios de Parciales

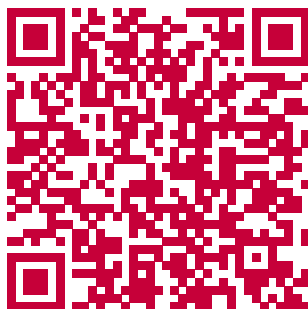
 [1.](#)       [2.](#)       [3.](#)       [??.](#)

Esta Guía 7 que tenés se actualizó por última vez:

29/07/25 @ 03:01

Escaneá el QR para bajarte (quizás) una versión más nueva:

Guía 7



El resto de las guías repo en [github](#) para descargar las guías con los últimos updates.



Si querés mandar un ejercicio o avisar de algún error, lo más fácil es por [Telegram](#).



## Notas teóricas:

✿ Matriz de iteraciones  $M_I$ :

Busco un sistema equivalente al clásico y querido  $Ax = b$ , porque invertir  $A$  se complica:

$$Ax = b \Leftrightarrow A = B + C \Leftrightarrow (B + C)x = b \stackrel{!}{\Leftrightarrow} x = \underbrace{-B^{-1}C}_{M_I} x + \underbrace{B^{-1}b}_{\tilde{b}} \Leftrightarrow x = M_I x + \tilde{b} \star^1.$$

Donde  $B$  se elige porque es más fácil de invertir que  $A$ , *sino me estaría pegando un tiro en el pie*. La matriz  $M_I$  es la *matriz de iteraciones*, la cual se va a usar así:

$$\begin{array}{rcl} \text{espectativa} & \rightarrow & x = M_I x + \tilde{b} \\ \hline \text{realidad} & \rightarrow & x_{k+1} = M_I x_k + \tilde{b} \\ \text{error} & \rightarrow & x - x_{k+1} = e_{k+1} = M_I e_k \end{array}$$

Y ese error, si le mando  $M_I$  reiteradas veces:

$$e_{k+1} = M_I \cdot e_k = M_I \cdot M_I e_{k-1} = \dots = M_I^{k+1} e_0 \Leftrightarrow e_{k+1} = M_I^{k+1} e_0$$

Si el error de iterar  $k + 1$  veces  $e_{k+1} \rightarrow 0$ , entonces quiere decir que  $M_I^{k+1} \rightarrow 0$  entonces la *espectativa* y la *realidad* no van a diferir más que lo que diferían al principio antes de iterar:



$$e_{k+1} \xrightarrow{k \rightarrow 0} 0 \Leftrightarrow M_I^{k+1} \xrightarrow{k \rightarrow 0} 0 \stackrel{!!}{\Leftrightarrow} \rho(M_I) < 1$$



$$\text{Donde } \rho(M_I) = |\lambda_{\max}|$$

Para el cálculo de los autovalores de  $M_I$  esta propiedad es *clave*:

$$M_I = -B^{-1}C \text{ tiene autovalor } \lambda \iff \det(\lambda B + C) = 0$$

✿ Jacobi y Gauss-Seidel: Si una matriz  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ 

$$\begin{array}{c} \text{diagonal} \\ \uparrow \\ A = L + D + U \\ \downarrow \quad \downarrow \\ \text{triangular inferior} \quad \text{triangular superior} \end{array}$$

✿ Jacobi: Tomando en este caso  $B = D$  entonces, me queda la *matriz de iteraciones* para resolver  $\star^1$ :

$$\begin{cases} M_J &= -D^{-1}(L + U) \\ \tilde{b} &= D^{-1}b \end{cases}$$

✿ Gauss-Seidel: Tomando en este caso  $B = L + D$  entonces, me queda la *matriz de iteraciones* para resolver  $\star^1$ :

$$\begin{cases} M_{GS} &= -(L + D)^{-1}U \\ \tilde{b} &= (L + D)^{-1}b \end{cases}$$

- Si  $A$  es estrictamente diagonal dominante, es decir:

$$|a_{ii}| > \sum_{i \neq j} |a_{ij}| \quad \forall i \in \mathbb{N}_{\leq n}$$

entonces *Jacobi* y *Gauss-Seidel* convergen.

- Si  $A$  es tridiagonal entonces  $\rho(T_{GS}) = \rho^2(T_J)$
- Si  $A$  es simétrica (hermitiana) y definida positiva entonces *Gauss-Seidel* converge.

## Ejercicios de la guía:

## Ejercicio 1. 🚫... hay que hacerlo! 🚫

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗨️, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

## Ejercicio 2. 🚫... hay que hacerlo! 🚫

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗨️, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

Ejercicio 3. Considerar el sistema  $Ax = b$  para  $A = \begin{pmatrix} 64 & -6 \\ 6 & -1 \end{pmatrix}$  y  $b = (1, 2)^t$ .

- (a) Demostrar que el método de Jacobi converge para todo dato inicial.
- (b) Sea  $J$  la matriz de iteración. Hallar las normas 1,  $\infty$  y 2 de  $J$ .  
¿Contradice la convergencia del método?
- (c) Hallar una norma  $\|\cdot\|$  en la cual  $\|J\|$  sea  $< 1$ .

*Sugerencia: Considerar una base de autovectores de  $J$ .*

- (a) Busco autovalores de  $J$ ,

Si bien es una matriz chica de  $2 \times 2$  quiero practicar el método para calcular los autovalores sin calcular la inversa de  $D$ . Sea como sea, la *sugerencia del final* dice que voy a terminar calculando  $J$ .

Escribiendo a la matriz como  $A = L + D + U$  ([ver acá el genérico](#) [click click](#) 🐙), Si quiero los autovalores de la matriz de iteración es  $J = -D^{-1}(D + U)$  puedo hacer:

$$J = -D^{-1}(L + U) \text{ tiene autovalor } \lambda \Leftrightarrow \det(\lambda D + (L + U)) = 0$$

con

$$A = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 6 & 0 \end{pmatrix}}_L + \underbrace{\begin{pmatrix} 64 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}}_D + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & -6 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}}_U$$

Calculo determinante:

$$\det(\lambda D + (L + U)) = 0 \Leftrightarrow \begin{vmatrix} 64\lambda & -6 \\ 6 & -\lambda \end{vmatrix} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \lambda_1 = \frac{3}{4} \\ \lambda_2 = -\frac{3}{4} \end{cases}$$

Dado que el radio espectral  $\rho(A) = \frac{3}{4} < 1$  el método converge para cualquier valor inicial.

- (b) La matriz de iteración de Jacobi:

$$J = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{1}{64} & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}}_{D^{-1}} \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & -6 \\ 6 & 0 \end{pmatrix}}_{(L+U)} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{3}{32} \\ -6 & 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{autovectores}} \begin{cases} E_{\lambda_1=\frac{3}{4}} = \langle (1, 8) \rangle \\ E_{\lambda_2=-\frac{3}{4}} = \langle (-1, 8) \rangle \end{cases}$$

Recordar acá que:

Una matriz de iteración  $M_I$  converge si y solo si  $\rho(M_I) \overset{\star^1}{<} 1$ .

Por otro lado para cualquier norma  $\|\cdot\|$ , se tiene que  $\rho(M_I) < \|M_I\|$ . Por lo tanto es *suficiente* que  $\|M_I\| < 1$  para garantizar convergencia.

Peeeeeero, si  $\|M_I\| > 1$  no quiere decir que no converja el método, debido todo depende de  $\star^1$ .

Las normas pedidas:

$$(\text{🔊}) \quad \|J\|_1 = 6$$

$$(\text{🔊}) \quad \|J\|_\infty = 6$$

$$(\text{🔊}) \quad \|J\|_2 = \frac{3}{4} \rightarrow \text{acá está la papa.}$$

(c) Hay que usar:

$$\|A\|_W = \|W^{-1}AW\|_\infty$$

La matriz generada por los autovectores:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 8 & 8 \end{pmatrix}$$

Y puedo hacer:

$$J = CDC^{-1} \Leftrightarrow C^{-1}JC = \begin{pmatrix} \frac{3}{4} & 0 \\ 0 & -\frac{3}{4} \end{pmatrix}$$

Por lo tanto usando la norma  $\|\cdot\|_C$

$$\|J\|_C = \|C^{-1}JC\|_\infty = \|D\|_\infty = \frac{3}{4} < 1$$

Dale las gracias y un poco de amor 🍷 a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

🍷 naD GarRaz 🍷

**Ejercicio 4.** Decidir para cada una de las siguientes matrices si los métodos de Jacobi y de Gauss-Seidel converge.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -2 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 3 & -1 & -4 \\ -1 & 5 & 7 \\ -4 & 7 & 14 \end{pmatrix}$$

Matriz A:

A es una matriz *tridiagonal* es decir que averiguando el radio espectral de algún método ya sé lo que pasa con el otro, debido a que para este tipo de matrices:

$$\rho(T_{GS}) \stackrel{\star^1}{=} \rho^2(T_J)$$

Calculo  $T_J = -D^{-1}(L + U)$ :

$$T_J = - \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & -\frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Calculo los autovalores:

$$\det(T_J - \lambda I) = -\lambda \cdot (\lambda^2 + \frac{1}{2}) = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \lambda_1 = 0 \\ \lambda_2 = \frac{i}{\sqrt{2}} \\ \lambda_3 = \frac{-i}{\sqrt{2}} \end{cases} \Rightarrow \rho(T_J) = \max_i (|\lambda_i|) = \frac{1}{\sqrt{2}} \stackrel{\star^1}{\Rightarrow} \rho(T_{GS}) = \frac{1}{2}$$

Ambos métodos convergen dado que:

$$\rho(T_J) = \frac{1}{\sqrt{2}} < 1 \quad \text{y} \quad \rho(T_{GS}) = \frac{1}{2} < 1.$$

En particular el método de Gauss-Seidel converge más rápido dado que el de Jacobi, dado que  $\rho_{GS} < \rho_{TJ}$

Matriz B:

👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

*Matriz C:* C es una matriz *simétrica y definida positiva*.

$$(x \ y \ z) \begin{pmatrix} 3 & -1 & -4 \\ -1 & 5 & 7 \\ -4 & 7 & 14 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} =$$

👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 5. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 6. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 7. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 8. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 9. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 10. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 11. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 12. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 13. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

### Ejercicio 14. 👤... hay que hacerlo! 🗯

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{\LaTeX}$  → [una pull request](#) al 🐙.

**Ejercicio 15.** 🤖... hay que hacerlo! 🤖

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  → una *pull request* al 🐙.

---

**Ejercicio 16.** 🤖... hay que hacerlo! 🤖

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗉, o mejor aún si querés subirlo en  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  → una *pull request* al 🐙.

---

## 🔥 Ejercicios de parciales:

🔥 1. [recu 5/12/2024] Se desea resolver el sistema  $Ax = b$  para un  $b \in \mathbb{R}^3$  y  $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \alpha \\ 1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$  con  $\alpha \in \mathbb{R}$ .

(a) Determinar los valores de  $\alpha$  para los cuales el método de Gauss-Seidel converge para cualquier vector inicial  $x_0$ .

(b) Probar que si  $\alpha = 0$  el método de Jacobi converge en 3 pasos para cualquier  $x_0$ .

*Sugerencia:* analizar  $B_J^3$ , siendo  $B_J$  la matriz que gobierna la iteración del método de Jacobi.

(a) Busco  $\alpha$  tal que  $\rho(B_{GS}) < 1$ . Interesante en este ejercicio es el *ratoneo*, demostración de como las pocas ganas de invertir una matriz revelan una forma de encontrar lo deseado minimizando el esfuerzo y coso, en fin:

$$A = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}}_L \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_D \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_U \implies T_{GS} = -(D + L)^{-1} \begin{pmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

El producto  $T_{GS}$  tiene ceros en la primera y segunda columna, mientras que en la tercera tiene a la *primera columna* de  $-(D + L)^{-1}$  multiplicada por  $\alpha$ . Es *fácil* encontrar esa *primera columna* sin invertir toda la matriz:

$$(D + L) \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{21} \\ x_{31} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{21} \\ x_{31} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Así tengo  $T_{GS}$ :

$$T_{GS} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & -\alpha \\ 0 & 0 & 2\alpha \end{pmatrix}$$

Matriz que tiene un *radio espectral*:  $\rho(T_{GS}) = 2|\alpha|$ . Por lo tanto para que el método de Gauss-Seidel converja para todo vector inicial  $x_0$ :

$$|\alpha| < 1$$

Fin.

(b) Jacobi:

$$A = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}}_L \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_D \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_U \implies T_J = -D^{-1}(L + U) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Hago hasta la cuarta iteración, para comparar la tercera y cuarta:

$$\begin{aligned} x^{(1)} &= T_J x^{(0)} + b \\ x^{(2)} &= T_J x^{(1)} + b = T_J(T_J x^{(0)} + b) + b = T_J^2 x^{(0)} + T_J b + b \\ x^{(3)} &= T_J x^{(2)} + b = T_J(T_J^2 x^{(0)} + T_J b + b) + b = T_J^3 x^{(0)} + T_J^2 b + T_J b + b \\ x^{(4)} &= T_J x^{(3)} + b = T_J(T_J^3 x^{(0)} + T_J^2 b + T_J b + b) + b = T_J^4 x^{(0)} + T_J^3 b + T_J^2 b + T_J b + b \end{aligned}$$

Usando la sugerencia puedo ver que  $x^{(3)}$  y  $x^{(4)}$  son iguales:

$$T_J^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \xrightarrow[\text{más}]{\text{una}} T_J^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Por lo tanto:

$$\begin{array}{rcl} x^{(4)} & = & T_J^4 x^{(0)} + T_J^3 b + T_J^2 b + T_J b + b = T_J^2 b + T_J b + b \\ - & & \\ x^{(3)} & = & T_J^3 x^{(0)} + T_J^2 b + T_J b + b = T_J^2 b + T_J b + b \end{array} \rightarrow \boxed{x^{(4)} = x^{(3)}}$$

Por lo tanto converge en la tercera iteración.

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

👤 naD GarRaz 🍷

2. [segundo cuatri 2023] Dada una matriz real  $A$ , notamos  $A = D + L + U$ , donde  $D$  es diagonal,  $L$  triangular inferior estricta y  $U$  triangular superior estricta.

- (a) Probar que  $x$  es solución de  $Ax = b$  si y solo si  $x$  satisface:

$$(I + \frac{1}{2}L)x = -(D - I + \frac{1}{2}L + U)x + b.$$

- (b) Considerar el método iterativo derivado de la formulación anterior:

$$x^{n+1} = Bx^n + c,$$

donde  $B = -(I + \frac{1}{2}L)^{-1}(D - I + \frac{1}{2}L + U)$  y  $c = (I + \frac{1}{2}L)^{-1}b$ . Probar que  $\lambda$  es un autovalor de  $B$  si y solo si  $\lambda$  es raíz de la ecuación:

$$\det(D - I + \frac{1}{2}L + U + \lambda(I + \frac{1}{2}L)) = 0.$$

- (c) Para  $a \in \mathbb{R}$  se define

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a & 0 \\ a & 1 + a^2 & a \\ 0 & a & 1 \end{pmatrix}.$$

Probar que el método anterior converge para una matriz  $A$  si y solo si  $|a| < 1$ .

- (d) Probar que para que el método de Jacobi converja se debe cumplir la misma condición. Deducir de esto que la condición para que Gauss-Seidel converja es la misma ¿Qué método es preferible para la matriz  $A$ ?

- (a) Para que  $x$  sea solución solo hay que hacer un par de cuentas y ver que queda una igualdad:

$$\begin{aligned} (I + \frac{1}{2}L)x &= -(D - I + \frac{1}{2}L + U)x + b &\Leftrightarrow& Ix + \frac{1}{2}Lx = -Dx + Ix - \frac{1}{2}Lx - Ux + b \\ &&\Leftrightarrow& Dx + Lx + Ux = b \\ &&\Leftrightarrow& (D + L + U)x = b \\ &&\Leftrightarrow& Ax = b \end{aligned}$$

- (b)  $B$  va a tener a  $\lambda$  como autovalor si y solo si  $|B - \lambda I| = 0$ . Hay que acomodar ese determinante feo y llegar a esa expresión:

$$\begin{aligned} \det(D - I + \frac{1}{2}L + U + \lambda(I + \frac{1}{2}L)) &= 0 &\Leftrightarrow& \det(\underbrace{(-(I + \frac{1}{2}L)(-I + \frac{1}{2}L)^{-1})(D - I + \frac{1}{2}L + U) + \lambda(I + \frac{1}{2}L)}_{I_n}) = 0 \\ &&\Leftrightarrow& \det(-(I + \frac{1}{2}L)B + \lambda(I + \frac{1}{2}L)) = 0 \\ &&\Leftrightarrow& \det((-B + \lambda I)(I + \frac{1}{2}L)) = 0 \\ &&\Leftrightarrow& \det(-B + \lambda I) \cdot \underbrace{\det(I + \frac{1}{2}L)}_{\neq 0} = 0 \\ &&\Leftrightarrow& \det(-B + \lambda I) = 0 \\ &&\Leftrightarrow& \det(B - \lambda I) = 0 \end{aligned}$$

- (c) De la teórica sabemos que:

$$\text{La sucesión } \{B^k\} \text{ converge} \iff \rho(B) \stackrel{\text{def}}{=} \max\{|\lambda| : \lambda \text{ autovalor de } B\} < 1$$

Por lo tanto quiero calcular los autovalores de la matriz de iteración  $B = -(I + \frac{1}{2}L)^{-1}(D - I + \frac{1}{2}L + U)$ , lo cual, dado lo visto en el ítem anterior, es lo mismo que calcular:

$$\det(D - I + \frac{1}{2}L + U + \lambda(I + \frac{1}{2}L)) = 0$$

Cálculo que *no requiere invertir nada*, lo cual nos saca una sonrisa 😊. Junto los ingredientes para cocinar eso:

$$A = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1+a^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_D + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ a & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \end{pmatrix}}_L + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_U$$

$$D - I + \frac{1}{2}L + U + \lambda(I + \frac{1}{2}L) = \begin{pmatrix} 0 & a & 0 \\ \frac{a}{2} & a^2 & a \\ 0 & \frac{a}{2} & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ \lambda\frac{a}{2} & \lambda & 0 \\ 0 & \lambda\frac{a}{2} & \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda & a & 0 \\ (\lambda+1)\frac{a}{2} & a^2+\lambda & a \\ 0 & (\lambda+1)\frac{a}{2} & \lambda \end{pmatrix}$$

Calculo el determinante de eso:

$$\begin{vmatrix} \lambda & a & 0 \\ (\lambda+1)\frac{a}{2} & a^2+\lambda & a \\ 0 & (\lambda+1)\frac{a}{2} & \lambda \end{vmatrix} \stackrel{!}{=} \lambda^3 - a^2\lambda \stackrel{!}{=} \lambda \cdot (\lambda - a) \cdot (\lambda + a) = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \lambda_1 = 0 \\ \lambda_2 = a \\ \lambda_3 = -a \end{cases}$$

Por lo tanto para que la matriz de iteración  $B$  converga sin importar el vector inicial:

$$|a| < 1$$

(d) La matriz de iteración,  $B_J$ , para el método de Jacobi:

$$B_J = -D^{-1}(L + U).$$

Con la propiedad que se usó en el ejercicio anterior, para calcular los autovalores de esta  $B_J$ :

$$\lambda D + L + U = \begin{pmatrix} \lambda & a & 0 \\ a & \lambda(1+a^2) & a \\ 0 & a & \lambda \end{pmatrix}$$

Calculo el determinante e igualo a cero:

$$\begin{vmatrix} \lambda & a & 0 \\ a & \lambda(1+a^2) & a \\ 0 & a & \lambda \end{vmatrix} = 0 \Leftrightarrow \lambda \cdot \left(\lambda - \sqrt{\frac{2a^2}{1+a^2}}\right) \cdot \left(\lambda + \sqrt{\frac{2a^2}{1+a^2}}\right) = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \lambda_1 = 0 \\ \lambda_2 = \sqrt{\frac{2a^2}{1+a^2}} \\ \lambda_3 = -\sqrt{\frac{2a^2}{1+a^2}} \end{cases}$$

Por lo tanto el radio espectral de  $B$ ,  $\rho(B)$  debe cumplir que:

$$\rho(B) < 1 \Leftrightarrow \left|\sqrt{\frac{2a^2}{1+a^2}}\right| < 1 \stackrel{!}{\Leftrightarrow} 0 < \frac{2a^2}{1+a^2} < 1 \stackrel{!}{\Leftrightarrow} 0 < 2a^2 < 1+a^2 \Leftrightarrow -a^2 < a^2 < 1 \stackrel{!}{\Leftrightarrow} |a| < 1$$

Misma condición que la matriz anterior.

Lo que sigue ahora queda servido para usar la propiedad de la *tridiagonalidad* que relaciona los *radios espectrales* de los métodos de Jacobi y Gauss-Seidel.

Dado que  $A$  es tridiagonal para todo valor de  $a$ , sé que:

$$\rho^2(B_J) = \rho(B_{GS}) \Leftrightarrow \left(\sqrt{\frac{2a^2}{1+a^2}}\right)^2 = \left|\frac{2a^2}{1+a^2}\right|$$

Para que el método de Gauss-Seidel converja:

$$\left|\frac{2a^2}{1+a^2}\right| < 1 \stackrel{!}{\Leftrightarrow} |a| < 1$$

Por lo tanto tengo la misma condición que para el método de *Jacobi*.

Con respecto a la velocidad de convergencia, hay que pensar que lo que se está haciendo, *maomemo*, es multiplicar una matriz por sí misma una y otra vez, por lo tanto mientras más rápido se achique más rápido va a converger. Y dado que para cualquier norma subordinada:

$$\rho(B) = \lim_{k \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\|B^k\|},$$

mientras más chico el  $\rho(B)$  más rápido va a converger.

$$\rho(B_J) < 1 \quad y \quad \rho(B_{GS}) < 1 \quad y \quad (\rho(B_J))^2 = \rho(B_{GS}) \Leftrightarrow \boxed{\rho(B_J) > \rho(B_{GS})}$$

El método de Gauss-Seidel converge más rápido que el de Jacobi para esta matriz  $A$ . Comparo con  $\rho(B) = |a|$ :

$$\rho(B_{GS}) = \frac{2a^2}{1+a^2} \quad y \quad \rho(B) = |a|$$

Abro el módulo de  $a$  planteo un caso cuando  $a > 0$  y otro cuando  $a < 0$ :

$$|a| = \begin{cases} \text{si } a > 0 & \left\{ \begin{array}{l} \rho(B_{GS}) \stackrel{?}{>} \rho(B) \Leftrightarrow \frac{2a^2}{1+a^2} > a \\ \Leftrightarrow 2a^2 > a + a^3 \\ \Leftrightarrow 0 > a \cdot (1 - 2a + a^2) = a \cdot (a - 1)^2 \stackrel{!}{>} 0 \text{ ¡Absurdo!} \text{☠} \\ \Rightarrow \boxed{\rho(B_{GS}) \stackrel{\checkmark}{<} \rho(B)} \end{array} \right. \\ \text{si } a < 0 & \left\{ \begin{array}{l} \rho(B_{GS}) \stackrel{?}{>} \rho(B) \Leftrightarrow \frac{2a^2}{1+a^2} > -a \\ \stackrel{!}{\Leftrightarrow} 2a^2 < a + a^3 \\ \Leftrightarrow 0 < a \cdot (1 - 2a + a^2) = a \cdot (a - 1)^2 \stackrel{!}{<} 0 \text{ ¡Absurdo!} \text{☠} \\ \Rightarrow \boxed{\rho(B_{GS}) \stackrel{\checkmark}{<} \rho(B)} \end{array} \right. \end{cases}$$

Es así que el método de Gauss-Seidel es el más rápido para converger de los tres para la matriz  $A$ , porque tiene el menor *radio espectral*.

Dale las gracias y un poco de amor ❤ a los que contribuyeron! Gracias por tu aporte:

👉 naD GarRaz 🌀

🔥 3. [segundo parcial 8/7/23] Consideremos el siguiente sistema de ecuaciones

$$\begin{cases} x + ay = 1 \\ x + y + z = 1 \\ by + z = 1 \end{cases}$$

- Determinar todos los valores de  $a$  y  $b$  para que el sistema tenga solución única.
- Para la matriz asociada al sistema dado, demostrar que el método de Jacobi converge si y solo si el método de Gauss-Seidel converge.
- Determinar todos los valores de  $a$  y  $b$  para asegurar la convergencia de ambos métodos. ¿Cuál de los dos métodos elegiría?

(a) Calcular determinante de la matriz de coeficientes:

$$\det(A) = \begin{vmatrix} 1 & a & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & b & 1 \end{vmatrix} = (a-1)b = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} a = 1 \\ o \\ b = 0 \end{cases}$$

Si  $\det(A) \neq 0$  entonces el sistema tendrá solución única, por lo tanto:

$$\boxed{\forall a \neq 0 \text{ y } b \neq 0}$$

(b) Matriz tridiagonal, comparo los radios espectrales.

(c) 🐞... hay que hacerlo! 🐞

Si querés mandá la solución → [al grupo de Telegram](#) 🗨️, o mejor aún si querés subirlo en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X → [una pull request](#) al 🐙.