

Apunte Único: Álgebra Lineal Computacional - Práctica 7

Por alumnos de ALC
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
UBA

última actualización 23/06/25 @ 11:25

Choose your destiny:

(click click 🗑 en el ejercicio para saltar)

☉ [Notas teóricas](#)

☉ Ejercicios de la guía:

[1.](#)

[3.](#)

[5.](#)

[7.](#)

[9.](#)

[11.](#)

[13.](#)

[15.](#)

[2.](#)

[4.](#)

[6.](#)

[8.](#)

[10.](#)

[12.](#)

[14.](#)

[16.](#)

☉ Ejercicios de Parciales

 [1.](#)

 [2.](#)

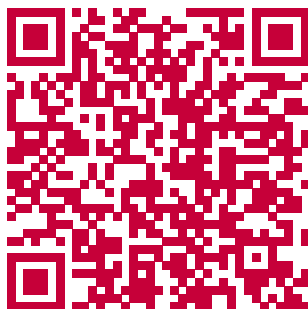
 [??.](#)

Esta Guía 7 que tenés se actualizó por última vez:

23/06/25 @ 11:25

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 que 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 \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 \LaTeX → [una pull request](#) al 🐙.

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

- Demostrar que el método de Jacobi converge para todo dato inicial.
- Sea J la matriz de iteración. Hallar la normas 1, ∞ y 2 de J .
¿Contadice la convergencia del método?
- Hallar una norma $\|\cdot\|$ en la cual $\|J\|$ sea < 1 . *Sugerencia: Considerar una base de autovectores de J .*

🤖... hay que hacerlo! 🏠

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

Ejercicio 4. 🤖... hay que hacerlo! 🏠

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

🔥... hay que hacerlo! 🍷

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

🔥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 λ es un autovalor de B si y solo si λ 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 λ como autovalor si y solo si $|B - \lambda I| = 0$. Hay que acomodar ese determinante feo y llegar

a esa expresión:

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

(c) De la teoría 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:

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

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

$$\begin{aligned}
 A &= \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1+a^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_D + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ a & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \end{pmatrix}}_L + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_U \\
 D - I + \tfrac{1}{2}L + U + \lambda(I + \tfrac{1}{2}L) &= \begin{pmatrix} 0 & a & 0 \\ \frac{a}{2} & a^2 & a \\ 0 & \frac{a}{2} & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ \lambda \frac{a}{2} & \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \frac{a}{2} & \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda & a & 0 \\ (\lambda+1)\frac{a}{2} & a^2+\lambda & a \\ 0 & (\lambda+1)\frac{a}{2} & \lambda \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

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:

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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 🐼

🐼 Aportá con correcciones, mandando ejercicios, ★ al repo, críticas, todo sirve.

La idea es que la guía esté actualizada y con el mínimo de errores.

[Ir al índice ↑](#)