Seminario de Becarios
CCM

El Teorema del Numero Primo: La codificación aritmética de la Función Zeta

Lorenzo Antonio Alvarado Cabrera

08/septiembre/2026



Primeras observaciones

Instituto de Matemáticas

Los números primos son parte de la cultura general de los matemáticos

2,

Encontrar el siguiente termino de la secuencia es una tarea bastante complicada

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Primeras observaciones

En 1737 Leonhard Euler probó que la suma de los reciprocos de los números primos:

$$\sum_p \frac{1}{p} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{11} + \cdots$$



Leonhard Euler (1707 – 1783)

es una serie divergente. Los primos son "bastante densos" en el conjunto de los enteros.

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}$$

Primeras observaciones

Existen espacios arbitrariamente grandes entre primos

$$(n+1)!+2,\ (n+1)!+3,\ (n+1)!+4,\ \ldots,\ (n+1)!+(n+1)$$

La menor distancia entre primos es 2 (primos gemelos)

(3, 5), (5, 7), (11, 13), (17, 19), (29, 31), (41, 43), (59, 61), (71, 73), (101, 103), (107, 109), (137, 139), (149, 151), (179, 181), (191, 193), (197, 199), (227, 229), (239, 241), (269, 271), (281, 283), (311, 313), (347, 349), (419, 421), (431, 433), (461, 463), (521, 523), (569, 571), (599, 601), (617, 619), (641, 643), (659, 661), (809, 811), (821, 823), (827, 829), (857, 859), (881, 883)

Primeras observaciones

Para un desarrollo mas analitico definimos la función:

$$\pi(x) = \#\left\{p \in \mathbb{Z} \middle| p \leq x \text{ y } p \text{ es primo}\right\} = \sum_{p \leq x} 1$$



Adrien-Marie Legendre (1752-1833)

Mas tarde (1798) Legendre en su libro *Essai sur la Théorie des Nombres* desarrollo y conjeturo lo siguiente:

Si $\dfrac{\pi(x)}{x} \sim \dfrac{1}{P(x)}$ donde $P(x)$ es un polinomio de grado m entonces

$$\sum_{p} \frac{1}{p} \text{ converge !!!}$$

"Por lo tanto"

$$\frac{\pi(x)}{x} \sim \frac{1}{A\log(x) + B}$$

Primeras observaciones

10 años despues refina la conjetura a

$$\frac{\pi(x)}{x} \sim \frac{1}{\log(x) + 1.08366}$$

Gauss en una carta (1849) menciona observar en 1792-1793 (15 años) que:

$$\frac{\pi(x)}{x} \sim \frac{1}{\log(x)}$$



Carl Friedrich Gauss (1777-1855)

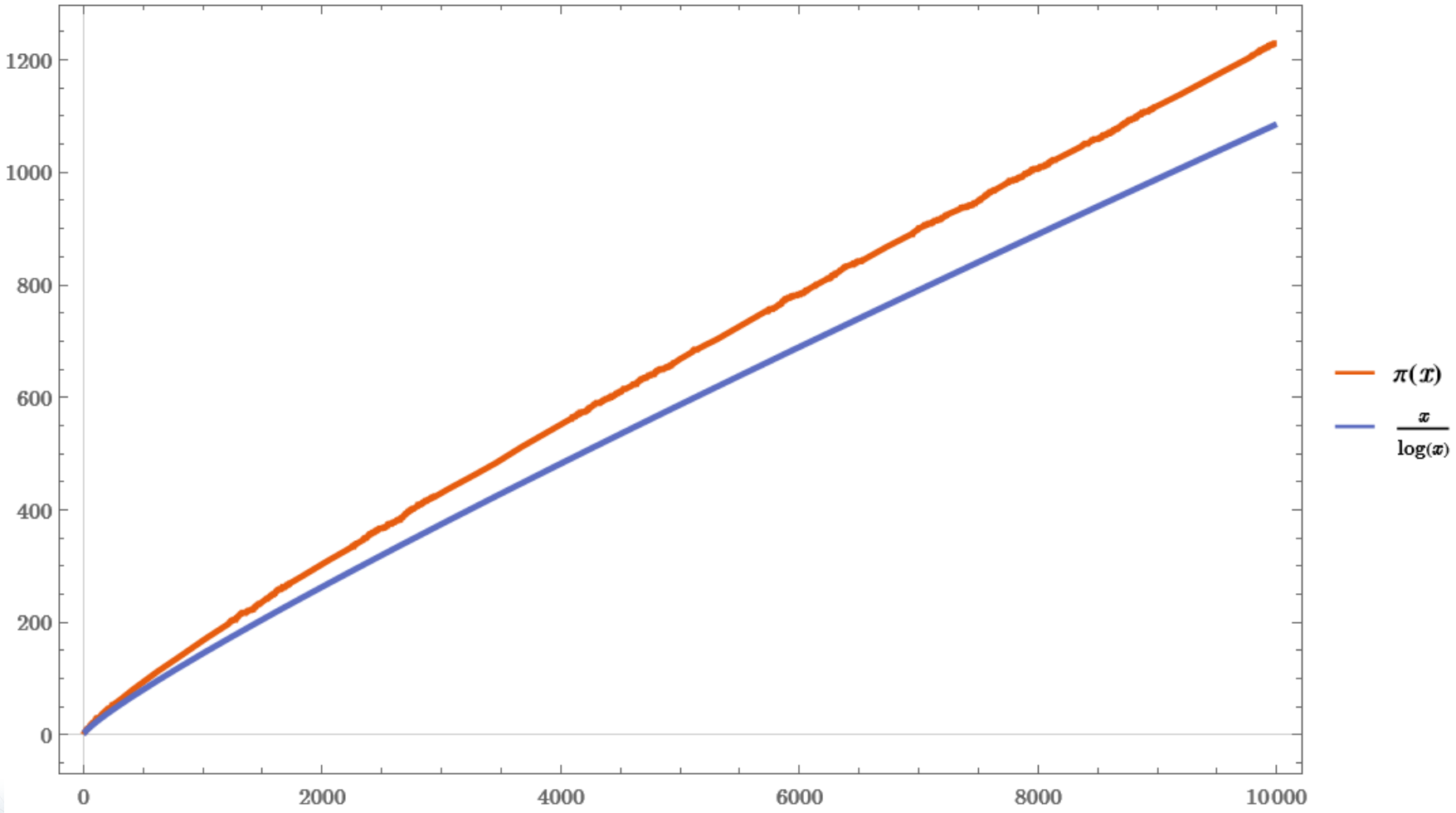
Teorema del Número Primo

Sea $\pi(x)$ la función contadora de primos, entonces

$$\pi(x) \sim \frac{x}{\log(x)}$$

Gauss y Legendre no pudieron probarlo

Primeras observaciones

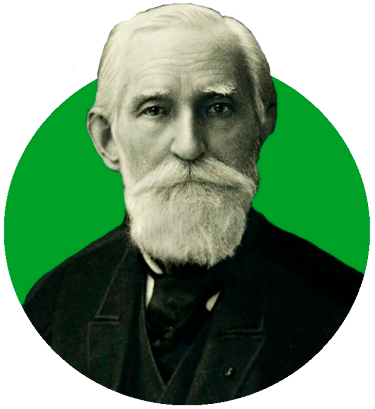


Primeros pasos

No hubo avance hasta la llegada de Chebyshev

En 1850 demostró

$$C_1 \frac{x}{\log(x)} < \pi(x) < C_2 \frac{x}{\log(x)}, \quad 0 < C_1 < 1 < C_2$$



Pafnuti Chebyshov (1821-1894)

Mas aún, trabajo con una nueva función de aproximación

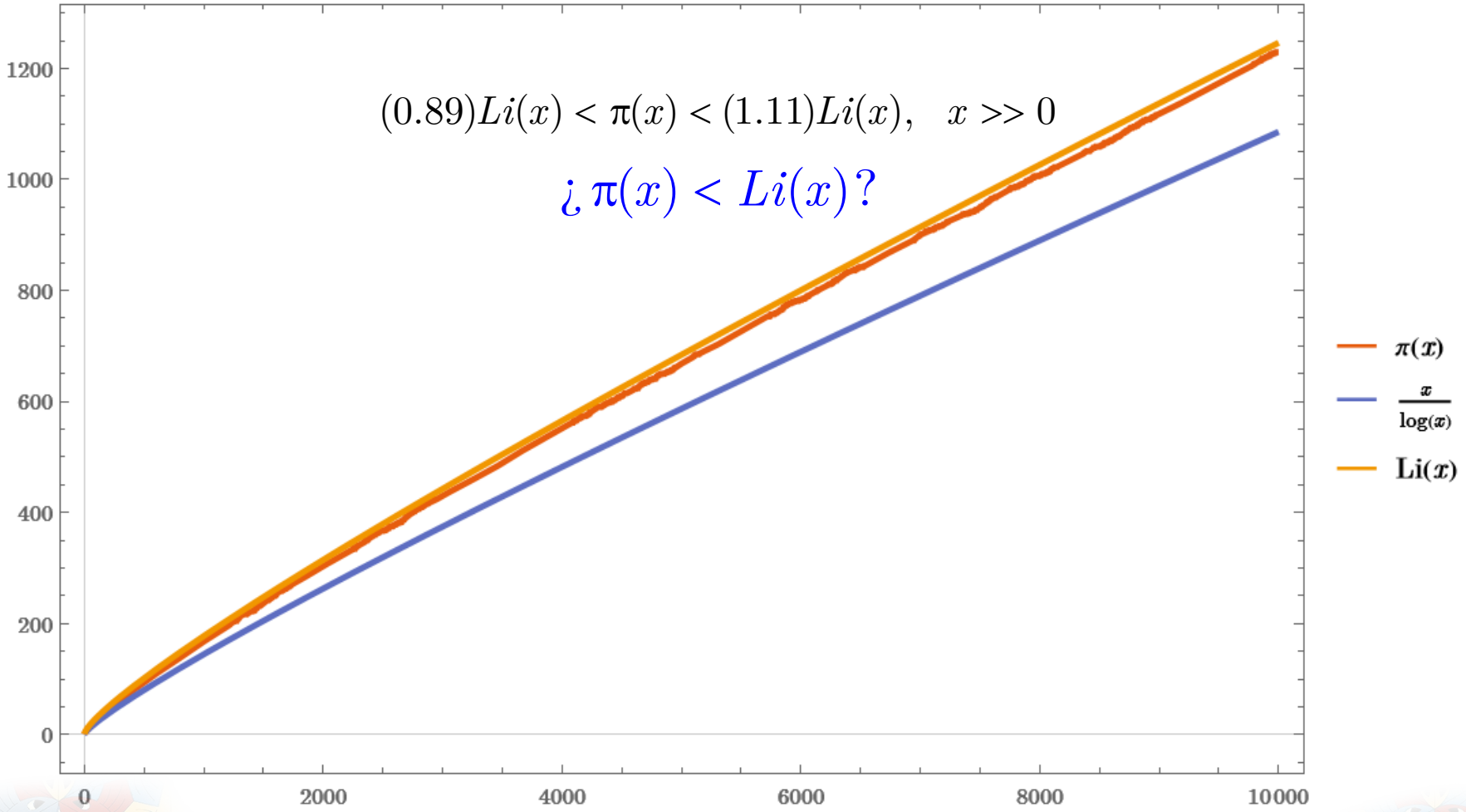
$$Li(x) = \int_2^x \frac{1}{\log(t)} dt \quad \text{(Logaritmo Integral recorrida)}$$

Teorema del Número Primo (Refinado)

Sea $\pi(x)$ la función contadora de primos, entonces

$$\pi(x) \sim Li(x)$$

Primeros pasos



Primeros pasos

Instituto de Matemáticas

¿Cómo lo hizo? $\pi(x)$ no tiene una expresión analítica sencilla

Chebyshev le dio un peso logaritmico a los primos y definio

$$\vartheta(x) = \sum_{p \leq x} \log(p) \qquad \psi(x) = \sum_{p^n \leq x} \log(p)$$

Funciones de Chebyshev

Su importancia radica en

$$\pi(x) \sim \frac{x}{\log(x)} \iff \vartheta(x) \sim x \iff \psi(x) \sim x$$

Gracias a sus esfuerzos logró probar que

$$\text{Si } \lim_{x \to \infty} \frac{\pi(x)}{x/\log(x)} \text{ existe entonces debe ser igual a } 1$$

Durante los proximos 50 años no se pudo probar la existencia

La función Zeta



Bernhard Riemann (1826 – 1866)

El punto de inflexion surgio en 1859 con Riemann

La funcion zeta:

$$\zeta(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^x}, \quad x > 1$$



Euler logro demostrar que

$$\frac{\pi^2}{6} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \prod_p \left(\frac{1}{1 - p^{-2}} \right)$$

$$\zeta(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^x} = \prod_p \left(\frac{1}{1 - p^{-x}} \right) \quad x > 1$$

¿Y si $x \in \mathbb{C}$?

$$\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s} = \prod_p \left(\frac{1}{1 - p^{-s}} \right) \quad \operatorname{Re} s > 1$$

Instituto de Matemáticas

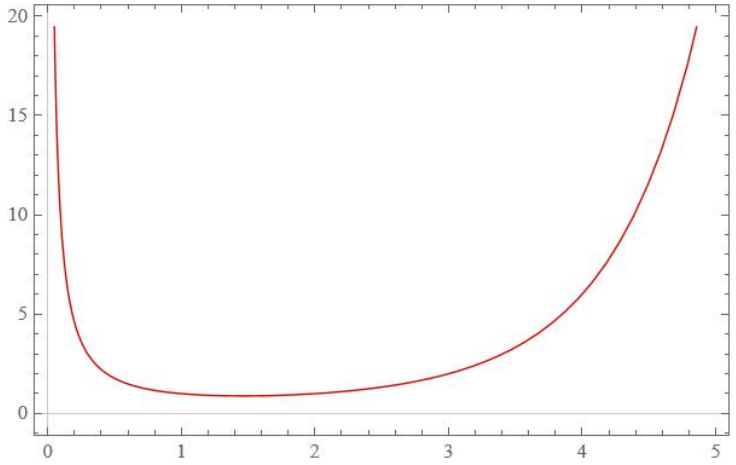
Funciones en el Analisis Complejo

- ¿Donde es analitica?
- ¿Cual es el maximo dominio de analiticidad?
- ¿Cuales son y como son sus singularidades?
- ¿Cuales son sus ceros?

$$\zeta(s) := \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}, \quad \mathrm{Re}(s) > 1$$

Instituto de Matemáticas

Consideraremos a la Funcion Gamma, un ejemplo clasico de continuacion analitica



$$\Gamma(x) := \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt, \;\; x > 0$$

$$\Gamma(n+1) = n!, \;\; n \in \mathbb{N}$$

$$\Rightarrow \;\; \Gamma(s) := \int_0^\infty t^{s-1} e^{-t} dt, \;\; \operatorname{Re} s > 0$$

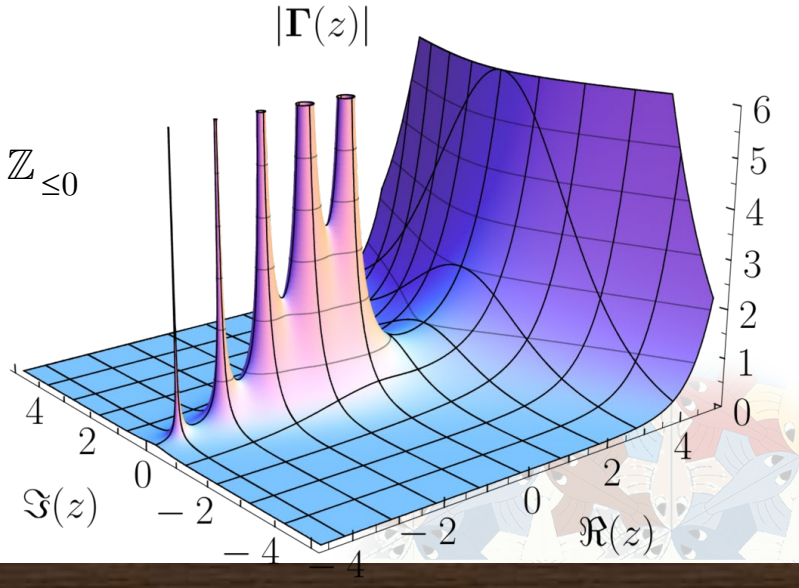


1729

$\Rightarrow \;\; \cdots$ la funcion Γ se extiende analiticamente a

todo el plano complejo donde tendra polos simples en $\mathbb{Z}_{\leq 0}$

¡No se anula!



Instituto de Matemáticas

Funcion Xi de Riemann ξ

$$\xi(s) := 1 + s(s-1)\int_1^{\infty} \omega(x)\left[x^{s/2-1} + x^{-s/2-1}\right]dx$$

⊙ Esta bien definida $\forall s \in \mathbb{C}$

⊙ La funcion ξ es entera

de donde $$\Rightarrow \quad \zeta(s) = \xi(s)\frac{1}{\Gamma(s/2)}\frac{1}{s(s-1)}\pi^{s/2}, \quad \operatorname{Re} s > 1$$

¿Donde esta definida la parte derecha?

Las unicas "singularidades" posibles son $s = 0$ y $s = 1$

pero $s = 0$ es removible pues $\lim_{s\to 0}\frac{1}{\Gamma(s/2)}\frac{1}{s}$ existe



Definición

Se define a la función zeta de Riemann como la extension analitica:

$$\zeta(s) = \xi(s)\frac{1}{\Gamma(s/2)}\frac{1}{s(s-1)}\pi^{s/2} \quad \forall s \in \mathbb{C} \setminus \{1\}$$

de la funcion Zeta. Siendo analitica en todo el plano complejo excepto en $s = 1$.

¿Y la ecuacion funcional?

Es facil comprobar que la funcion ξ cumple $\xi(s) = \xi(1-s)$

$$s(s-1)\pi^{-s/2}\Gamma(s/2)\zeta(s) = \xi(s) = \xi(1-s) = s(s-1)\pi^{-(1-s)/2}\Gamma((1-s)/2)\zeta(1-s)$$

Ecuación Funcional de ζ

$$\boxed{\pi^{-s/2}\Gamma(\frac{s}{2})\zeta(s) = \pi^{-(1-s)/2}\Gamma(\frac{1}{2}-\frac{s}{2})\zeta(1-s), \quad s \neq 0,1}$$

despejando ζ de esta expresion:

$$\Rightarrow \quad \zeta(s) = \pi^{(-1+2s)/2} \frac{\Gamma(\frac{1}{2} - \frac{s}{2})}{\Gamma(\frac{s}{2})} \zeta(1-s)$$

Formula de Reflexion de Euler

$$\Gamma(z)\Gamma(1-z) = \frac{\pi}{\sin(\pi z)}$$



$$\zeta(s) = 2^s \pi^{s-1} \sin(\frac{\pi s}{2}) \Gamma(1-s) \zeta(1-s), \qquad s \neq 0, 1$$

¿Cuales son sus singularidades y ceros?

De su continuacion analitica es evidente que solo tiene una singularidad en $s = 1$

$$\zeta(s) = \xi(s) \frac{1}{\Gamma(s/2)} \frac{1}{s(s-1)} \pi^{s/2}$$

ademas es un polo simple,



Instituto de Matemáticas

de la ecuacion:

$$\zeta(s) = \xi(s)\frac{1}{\Gamma(s/2)}\frac{1}{s(s-1)}\pi^{s/2} \quad \forall s \in \mathbb{C} \setminus \{1\}$$

podemos obtener de aqui son los pares negativos

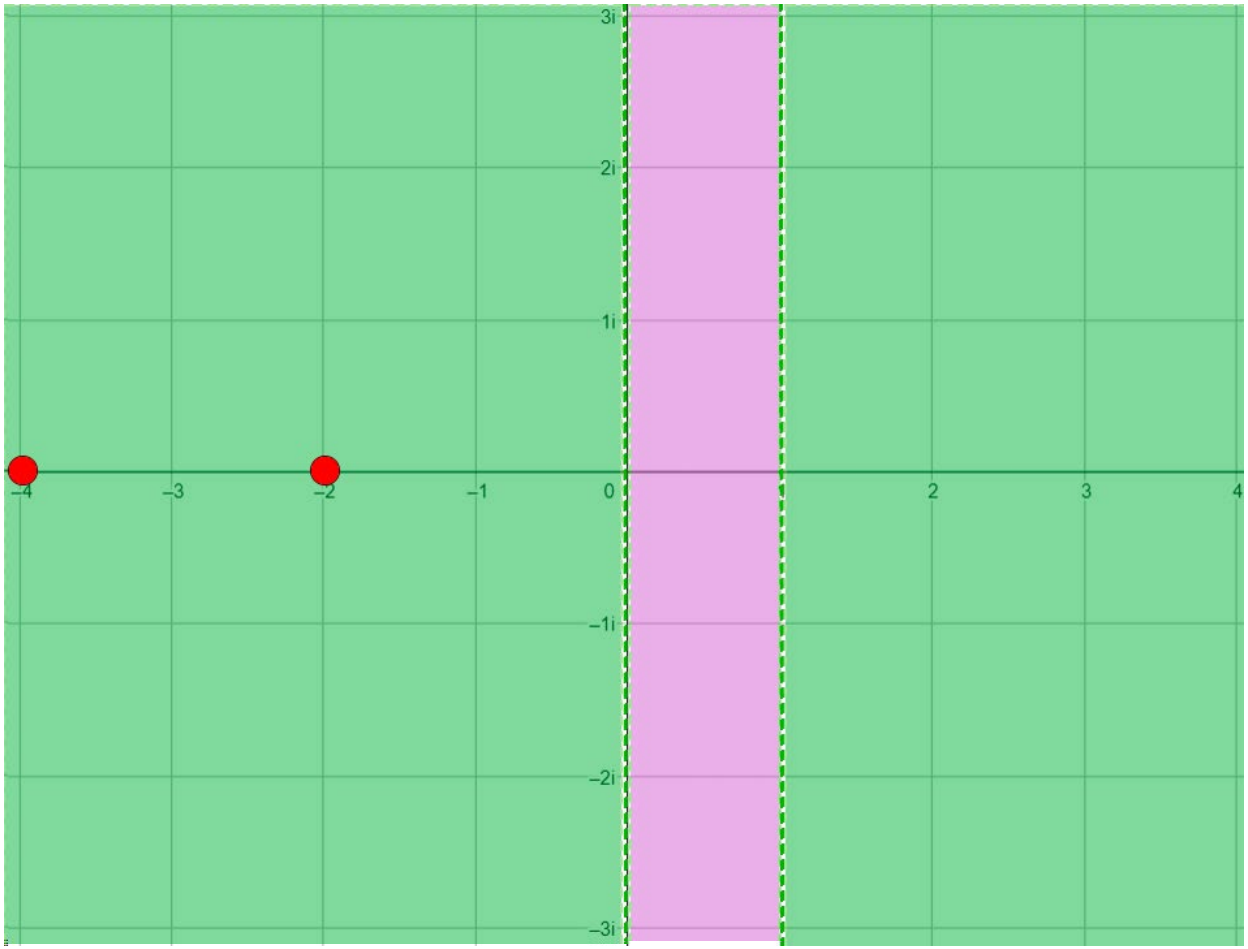
Ceros triviales de la funcion ζ : $\quad -2n, \quad n \in \mathbb{N}$

¿Hay más?

En principio es dificil de responder, por ello les denominaremos Ceros No Triviales de la funcion ζ

haremos un analisis de las regiones libres de ceros

Los ceros no triviales



La franja crítica de la función ζ

Los ceros no triviales

La franja critica de la función ζ $\quad \{z \in \mathbb{C} : \ 0 \le \operatorname{Re} z \le 1\}$

De la continuacion analitica:

$$\zeta(s) = \xi(s)\frac{1}{\Gamma(s/2)}\frac{1}{s(s-1)}\pi^{s/2} = \underbrace{\xi(s)}_{\text{ceros no triviales}} \underbrace{\frac{\pi^{s/2}}{s-1}}_{\text{polo en } s=1} \underbrace{\frac{1}{s\Gamma(s/2)}}_{\text{ceros triviales}}$$

$$\zeta(s) = 0 \ \Leftrightarrow \ \xi(s) = 0$$

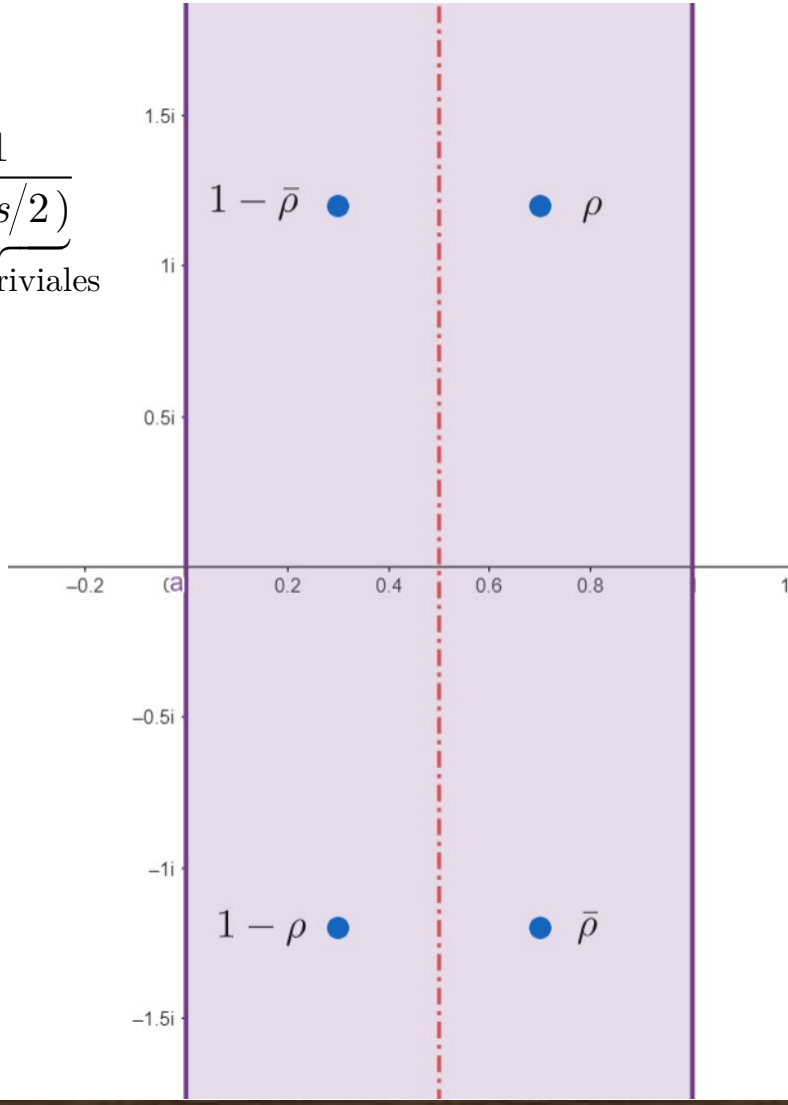
ademas cumple:

- $\xi(s) = \xi(1-s)$
- $\overline{\xi(s)} = \xi(\overline{s})$

Si ρ es cero no trivial $\Rightarrow$ $1-\rho$ tambien

Si ρ es cero no trivial $\Rightarrow$ $\overline{\rho}$ tambien

Si ρ es cero no trivial $\Rightarrow$ $1-\overline{\rho}$ tambien



La hipótesis de Riemann

Instituto de Matemáticas

"Los ceros No Triviales de la función ζ viven en la recta con $\operatorname{Re} s = \frac{1}{2}$"

pero hay un problema...

¿Existen ceros no triviales si acaso?



Formula Explicita

¿Que relación hay entre $\zeta(s)$ y $\pi(x)$?

La idea clave de Riemann fue considerar la función

$$\Pi(x) = \sum_{p^n < x} \frac{1}{n} \qquad \text{(Función Pi de Riemann)}$$

Por ejemplo,

$$\Pi(20) = \underbrace{\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}\right)}_{2^1,2^2,2^3,2^4<20} + \underbrace{\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{2}\right)}_{3^1,3^2<20} + \underbrace{\left(\frac{1}{1}\right)}_{5^1<20} + \underbrace{\left(\frac{1}{1}\right)}_{7^1<20} + \underbrace{\left(\frac{1}{1}\right)}_{11^1<20} + \underbrace{\left(\frac{1}{1}\right)}_{13^1<20} + \underbrace{\left(\frac{1}{1}\right)}_{15^1<20} + \underbrace{\left(\frac{1}{1}\right)}_{17^1<20}$$

Se puede reorganizar a

$$\Pi(20) = \left(\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{1}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{1}\right) + \frac{1}{3}\left(\frac{1}{1}\right) + \frac{1}{4}\left(\frac{1}{1}\right)$$

Por lo tanto se obtiene que

$$\Pi(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \pi(x^{1/n})$$

Formula Explicita

Instituto de Matemáticas

Riemann uso lo siguiente

Formula de Inversión de Möbius

Supongamos que $F(x)$ y $G(x)$ son funciones de valor complejo definidas en $[1,\infty)$, entonces

$$G(x) = \sum_{1\leq n\leq x} F(\tfrac{x}{n}) \Leftrightarrow F(x) = \sum_{1\leq n\leq x} \mu(n) G(\tfrac{x}{n}) \quad \forall x \geq 1$$

Obteniendo que

$$\pi(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu(n)}{n} \Pi(x^{1/n})$$

$$\mu(n) = \begin{cases} (-1)^k & n = p_1 \cdots p_k \\ 0 & e.o.c \end{cases}$$

Ahora, relacionaremos a $\zeta(s)$ con $\Pi(x)$

Formula Explicita

Tomemos la expresión $\zeta(s) = \prod_p \frac{1}{1-p^{-s}}$

$$\zeta(s) \neq 0, \quad \mathrm{Re}(s) > 1 \quad \Rightarrow \log \zeta(s) = -\sum_p \log(1-p^{-s})$$

$$= \sum_p \sum_{n=1}^{\infty} \frac{p^{-ns}}{n}$$

A continuación utilizamos que

$$p^{-ns} = s \int_{p^n}^{\infty} x^{-s-1} dx$$

Para escribir

$$\log \zeta(s) = \sum_p \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} s \int_{p^n}^{\infty} x^{-s-1} dx$$

$$= s \int_0^{\infty} \Pi(x) x^{-s-1} dx$$

$$\int_0^{\infty} x^{-s} d\Pi(x)$$

Formula Explicita

Instituto de Matemáticas

Por lo tanto

$$\frac{\log \zeta(s)}{s} = \int_0^\infty \Pi(x) x^{-s-1} dx \quad (\mathrm{Re}(s) > 1)$$

¿Como podemos invertirla? ¿Como obtenemos a $\Pi(x)$ en terminos de $\zeta(s)$?

Transformada de Mellin

La transformada de Mellin de una función f está definida como:

$$\{Mf\}(s) = \varphi(s) = \int_0^\infty x^{s-1} f(x) dx$$

Ademas,

$$\varphi(s) = \int_0^\infty x^{s-1} f(x) dx \iff f(x) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} x^{-s} \varphi(s) ds$$

Formula Explicita

Usando esto Riemann obtuvo que

$$\Pi(x) = \frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \frac{\log \zeta(s)}{s} x^s ds \quad (a > 1)$$

Luego, Riemann analizo la función $\xi(s)$ llegando a la conclusión que

$$\xi(s) = \frac{1}{2} \prod_{\rho} \left(1 - \frac{s}{\rho}\right) \quad (*1)$$

Recordando que

$$\zeta(s) = \xi(s) \frac{1}{\Gamma(s/2)} \frac{1}{s(s-1)} \pi^{s/2}$$

Se obtiene que

$$\zeta(s) = \frac{1}{2} \frac{1}{\Gamma(1 + \frac{s}{2})} \pi^{s/2} \frac{1}{(s-1)} \prod_{\rho} \left(1 - \frac{s}{\rho}\right)$$

Formula Explicita

Aplicando logaritmo

$$\log \zeta(s) = -\log 2 + \frac{s}{2}\log \pi - \log(s-1) - \log \Gamma\left(1+\frac{s}{2}\right) + \sum_{\rho} \log\left(1-\frac{s}{\rho}\right)$$

Y como

$$\Pi(x) = \frac{1}{2\pi i}\int_{a-i\infty}^{a+i\infty} \frac{\log \zeta(s)}{s} x^s ds$$

Sustituyendo en esta expresion Riemann demostró que

$$\Pi(x) = li(x) - \sum_{\rho} li(x^{\rho}) - \log 2 + \int_{x}^{\infty} \frac{dt}{t(t^2-1)\log t}, \quad x > 1 \qquad (*2)(*3)$$

$$li(x) = PV\int_{0}^{x} \frac{dt}{\log t}$$

Formula Explicita

Así la formula explicita encontrada por Riemann para $\pi(x)$ es

$$\pi(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu(n)}{n} \Pi(x^{1/n})$$

donde

$$\Pi(x) = li(x) - \sum_{\rho} li(x^{\rho}) - \log 2 + \int_{x}^{\infty} \frac{dt}{t(t^2-1)\log t}, \quad x > 1$$

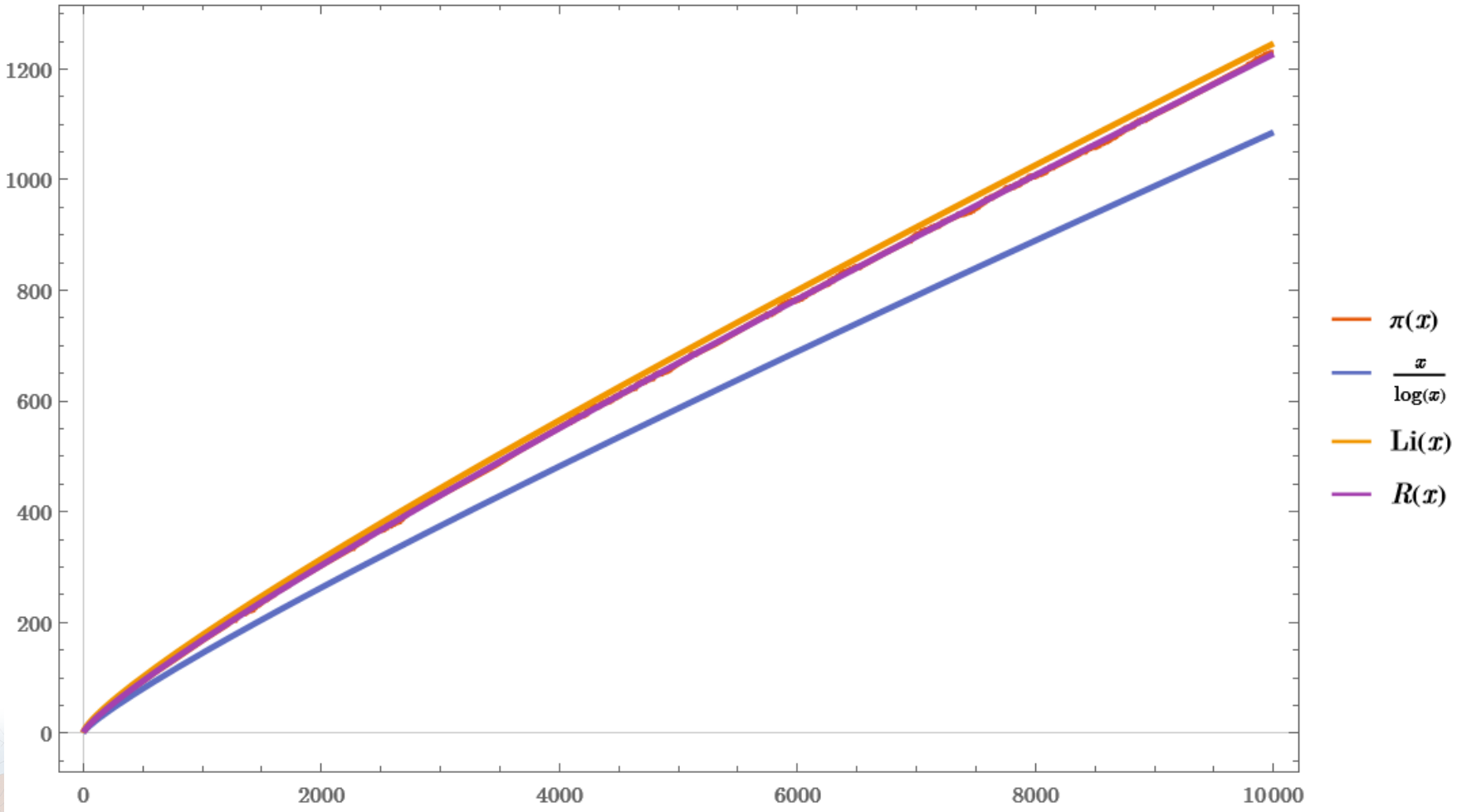
Los últimos terminos de esta expresión se vuelven insignificantes cuando $x \to \infty$

$$\Pi(x) \approx li(x) - \sum_{\rho} li(x^{\rho})$$

$$\Rightarrow \pi(x) \approx \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu(n)}{n} \left(li(x^{1/n}) - \sum_{\rho} li(x^{\rho/n}) \right)$$

Formula Explicita

$$\pi(x) \approx R(x) - \sum_{\rho} R(x^{\rho}) \qquad R(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu(n)}{n} li(x^{1/n})$$



Formula Explicita

Formula Explicita

Instituto de Matemáticas

Existen detalles

$$\xi(s) = \frac{1}{2}\prod_{\rho}\left(1 - \frac{s}{\rho}\right) \quad (*1)$$

$$\Pi(x) = li(x) - \sum_{\rho} li(x^{\rho}) - \log 2 + \int_{x}^{\infty} \frac{dt}{t(t^2-1)\log t}, \qquad x > 1 \quad (*2)(*3)$$

¿Y el TNP?

$$\text{TNP} \iff \Pi(x) \sim li(x)$$

El TNP

Instituto de Matemáticas

Durante los proximos 30 años no hubo progreso...

En un periodo de menos de 10 años



von Mangoldt (1854-1925)



Jacques Hadamard (1865-1963)



de la Vallée Poussin (1866-1962)

El TNP

Retomando

$$\log \zeta(s) = -\sum_{p} \log(1 - p^{-s})$$

Derivando

$$-\frac{\zeta'(s)}{\zeta(s)} = \sum_{p} \log p \frac{p^{-s}}{1 - p^{-s}}$$

$$= \sum_{p} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\log p}{p^{sk}}$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Lambda(n)}{n^{s}}$$

donde

$$\Lambda(n) := \begin{cases} \log p & n = p^{k} \\ 0 & e.o.c \end{cases}$$

$$\psi(x) = \sum_{n \leq x} \Lambda(n)$$

Función de Von Mangoldt

El TNP

$$-\frac{\zeta'(s)}{\zeta(s)} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Lambda(n)}{n^s} \qquad \mathrm{Re}(s) > 1$$

¿Como expresamos a $\Lambda(n)$ en terminos de $\zeta(s)$?

Formula de Inversión de Perrón

Supongamos que la serie $f(s) = \sum_{n\geq 1} a_n n^{-s}$ converge absolutamente para $\mathrm{Re}(s) > 1$, que $|a_n| < A(n)$, con $A(n)$ estrictamente creciente, y que

$$\sum_{n\geq 1} \left| a_n n^{-s} \right| = O((\mathrm{Re}(s)-1)^{-\alpha}), \ \alpha > 0, \ \mathrm{Re}(s) \to 1$$

Entonces para cualquier $b \in (1, b_0]$, $T \geq 1$, y $x = N + 1/2$

$$\sum_{n\leq x} a_n = \frac{1}{2\pi i} \int_{b-iT}^{b+iT} f(s) \frac{x^s}{s} ds + O\left(\frac{x^b}{T(b-1)^{\alpha}} \right) + O\left(\frac{xA(2x)\log x}{T} \right)$$

El TNP

$$a(n) = \Lambda(n) \;\Rightarrow\; f(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Lambda(n)}{n^s} = -\frac{\zeta'(s)}{\zeta(s)}$$

$$\left|\Lambda(n)\right| < \log n := A(n)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left|\frac{\Lambda(n)}{n^s}\right| = O((\mathrm{Re}(s)-1)^{-2})$$

Tomamos $b = 1 + 1/\log x$, como $x = N + 1/2$ entonces $\log x \geq \log(3/2)$ con lo cual $b \leq 1 + 1/\log(3/2) < 4$. Así, tomamos $b_0 = 4$ y por lo tanto

$$\psi(x) = \sum_{n \leq x} \Lambda(n) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma_x} \frac{\zeta'(s)}{\zeta(s)} \frac{x^s}{s} ds + O\left(\frac{x \log^2 x}{T}\right)$$

El TNP

A continuación tomamos el contorno

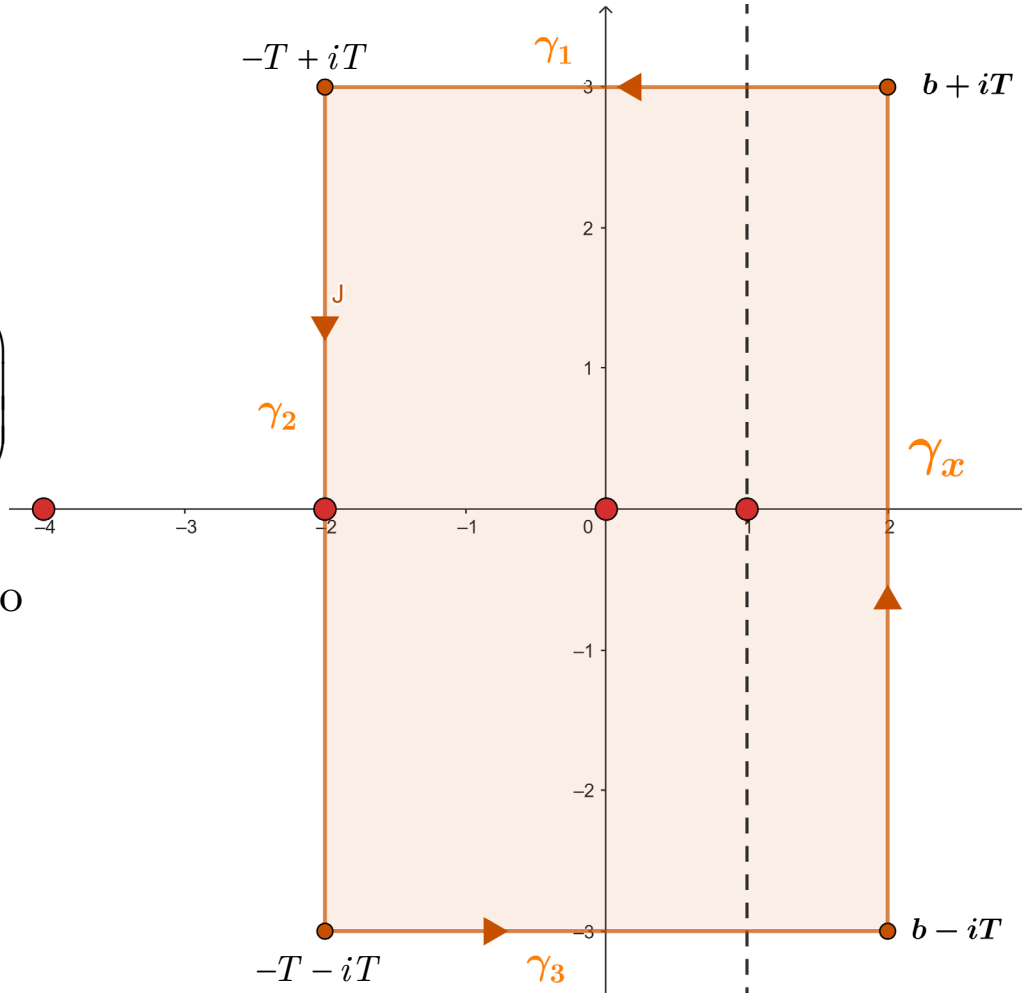
$$\Gamma = \gamma_x + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$$

Con lo cual

$$\frac{1}{2\pi i}\int_{\Gamma} \frac{\zeta'(s)}{\zeta(s)}\frac{x^s}{s}ds = \sum_{\rho} \mathrm{Res}\left(\frac{\zeta'(s)}{\zeta(s)}\frac{x^s}{s}, \rho\right)$$

Las aportaciones de γ_k, $k = 1,2,3$ cuando $T \to \infty$ se anulan, así

$$\psi(x) = \sum_{\rho} \mathrm{Res}\left(\frac{\zeta'(s)}{\zeta(s)}\frac{x^s}{s}, \rho\right)$$



Instituto de Matemáticas

Singularidades de $\dfrac{\zeta'(s)}{\zeta(s)}\dfrac{x^s}{s}$

Singularidad	Tipo	Residuo
$s = 1$	Polo simple	x
$s = 0$	Polo simple	$-\zeta'(0) \,/\, \zeta(0) = -\log 2\pi$
$s = -2n$	Polo simple	$x^{-2n} \,/\, 2n$
$s = \rho$	Polo "simple"	$-x^{\rho} \,/\, \rho$

El TNP

$$\psi(x) = x - \log 2\pi + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^{-2n}}{2n} - \sum_{\rho} \frac{x^{\rho}}{\rho}$$

$$= x - \log 2\pi + \frac{1}{2}\log(1 - x^{-2}) - \sum_{\rho} \frac{x^{\rho}}{\rho}$$

$$\boxed{\frac{\psi(x)}{x} = 1 - \frac{\log 2\pi}{x} + \frac{\log(1 - x^{-2})}{2x} - \sum_{\rho} \frac{x^{\rho-1}}{\rho}}$$

El TNP es equivalente a

$$\psi(x) \sim x \quad \Leftrightarrow \quad \lim_{x\to\infty} \frac{\psi(x)}{x} = 1$$

$$\Leftrightarrow \quad \lim_{x\to\infty} \sum_{\rho} \frac{x^{\rho-1}}{\rho} = 0$$

El TNP

$$\text{TNP} \iff \lim_{x\to\infty} \sum_{\rho} \frac{x^{\rho-1}}{\rho} = 0$$

$$\left|\sum_{\rho} \frac{x^{\rho-1}}{\rho}\right| \leq \sum_{\rho} \left|\frac{x^{\rho-1}}{\rho}\right|$$

$$= \sum_{\rho} \frac{x^{\mathrm{Re}(\rho)-1}}{|\rho|}$$

$$\text{TNP} \iff \mathrm{Re}(\rho) < 1$$

$\zeta(s)$ no se anula en $\mathrm{Re}(s) = 1$

El TNP

Instituto de Matemáticas

Teor

Exis

$\zeta(s)$

Instituto de Matemáticas

El Teorema del Número Primo Fue Probado!!!

Despues de casi 100 años...

(Clasica)




Gracias!