

Apunte Único: Álgebra I - Práctica 2

Por alumnos de Álgebra I
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
UBA

última actualización 14/09/25 @ 11:50

Choose your destiny:

(doubleclick en los ejercicio para saltar)

- Notas teóricas

- Ejercicios de la guía:

1.	4.	7.	10.	13.	16.	19.	22.
2.	5.	8.	11.	14.	17.	20.	
3.	6.	9.	12.	15.	18.	21.	

- Ejercicios de Parciales

 1.	 3.	 5.	 7.	 9.	 11.
 2.	 4.	 6.	 8.	 10.	 12.

Disclaimer:

Dirigido para aquél que esté listo para leerlo, o no tanto. Va con onda.

¡Recomendación para sacarle jugo al apunte!

Estudiar con resueltos puede ser un arma de doble filo. Si estás trabado, antes de saltar a la solución que hizo otra persona:

- 📖⁰₁ Mirar la solución ni bien te trabás, te *condicionas pavlovianamente* a **no** pensar. Necesitás darle tiempo al cerebro para llegar a la solución.
- 📖⁰₂ Intentá un ejercicio similar, pero **más fácil**.
- 📖⁰₃ ¿No sale el fácil? Intentá uno **aún más fácil**.
- 📖⁰₄ Fijate si tenés un ejercicio similar hecho en clase. Y mirá ese, así no quemás el ejercicio de la guía.
- 📖⁰₅ Tomate 2 minutos para formular una pregunta que realmente sea lo que **no** entendés. Decir '*no me sale*' \neq +. Escribí esa pregunta, vas a dormir mejor.

Ahora sí mirá la solución.

Si no te salen los ejercicios fáciles sin ayuda, no te van a salir los ejercicios más difíciles: [Sentido común](#).

¡Los más fáciles van a salir! Son el alimento de nuestra confianza.

Si mirás miles de soluciones a parciales en el afán de tener un ejemplo hecho de todas las variantes, estás apelando demasiado a la suerte de que te toque uno igual, *pero no estás aprendiendo nada*. Hacer un parcial bien lleva entre 3 y 4 horas. Así que si vos en 4 horas "hiciste" 3 o 4 parciales, *algo raro debe haber*. A los parciales se va a **pensar** y eso hay que practicarlo desde el primer día.

Mirá los videos de las teóricas:
de Teresa que son **buenísimos** .

Videos de prácticas de pandemia, complemento extra:
Prácticas Pandemia .

Los ejercicios que se dan en clase suelen ser similares a los parciales, a veces más difíciles, repasalos siempre **Just Do IT** .

Eh, loco, fatalista, distópico, **relajá un toque te vas a quedar (más) pelado...**  *va a salir todo bien!*

Esta Guía 2 que tenés se actualizó por última vez:

14/09/25 @ 11:50

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

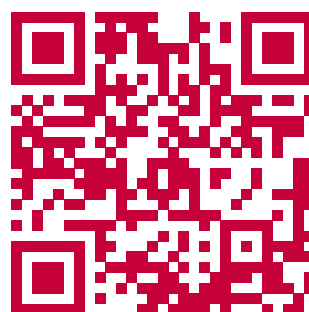
Guía 2



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:✚ *Propiedades de la sumatoria y productoria:*

$$\triangleright \left(\sum_{k=1}^n a_k \right) + \left(\sum_{k=1}^n b_k \right) = \sum_{k=1}^n (a_k + b_k)$$

▷ Sea c un número dado:

$$\sum_{k=1}^n (c \cdot a_k) = c \cdot \sum_{k=1}^n a_k$$

$$\triangleright \left(\prod_{k=1}^n a_k \right) \cdot \left(\prod_{k=1}^n b_k \right) = \prod_{k=1}^n (a_k b_k)$$

▷ Sea c un número dado:

$$\prod_{k=1}^n (c \cdot a_k) = \left(\prod_{k=1}^n c \right) \cdot \left(\prod_{k=1}^n a_k \right) = c^n \cdot \prod_{k=1}^n a_k$$

✚ *Suma de Gauss:*

$$\forall n \in \mathbb{N} : \sum_{i=1}^n i = 1 + 2 + \cdots + (n-1) + n = \frac{n \cdot (n+1)}{2}$$

Y cuando empieza desde $i = 0$ u otro valor escribís lo que hay y hacés algo así:

$$\sum_{i=0}^n i \stackrel{!}{=} 0 + \underbrace{1 + 2 + \cdots + (n-1) + n}_{\sum_{i=1}^n i} \stackrel{!}{=} \frac{n \cdot (n+1)}{2}$$

o también puede pasar así:

$$\sum_{i=3}^n i \stackrel{!}{=} 3 + 4 + \cdots + (n-1) + n = \underbrace{-2 - 1 + 1 + 2 + 3 + 4 + \cdots + (n-1) + n}_{\substack{\text{sumo } 0 \\ \sum_{i=1}^n i}} \stackrel{!}{=} -1 - 2 + \frac{n \cdot (n+1)}{2}$$

✚ *Suma geométrica:*

$$\forall n \in \mathbb{N} : \sum_{i=0}^n q^i = 1 + q + q^2 + \cdots + q^{n-1} + q^n = \begin{cases} n+1 & \text{si } q = 1 \\ \frac{q^{n+1}-1}{q-1} & \text{si } q \neq 1 \end{cases}$$

Y cuando empieza desde $i = 1$ u otro valor se hace:

$$\sum_{i=1}^n q^i \stackrel{!}{=} -1 + 1 + \sum_{i=1}^n q^i \stackrel{!}{=} -1 + \sum_{i=0}^n q^i = \begin{cases} -1 + n + 1 = n & \text{si } q = 1 \\ -1 + \frac{q^{n+1}-1}{q-1} = \frac{q^{n+1}-q}{q-1} & \text{si } q \neq 1 \end{cases}$$

✚ *Inducción:*

Sea $H \subseteq \mathbb{R}$ un conjunto. Se dice que H es un conjunto *inductivo* si se cumplen las dos condiciones siguiente:

- $1 \in H$
- $\forall x, x \in H \implies x + 1 \in H$

✚ *Principio de inducción: que se usará infinitas veces*

Sea $p(n), n \in \mathbb{N}$, una afirmación sobre los números naturales.

Si $p(n)$ satisface:

✚ *Caso Base:*

$p(1)$ es Verdadera.

✚ *Paso inductivo:*

$$\forall h \in \mathbb{N}, p(h) \text{ es Verdadera} \implies p(h+1) \text{ también es Verdadera,}$$

entonces $p(n)$ es Verdadera $\forall n \in \mathbb{N}$.

✚ *Principio de inducción corrido:* A los fines prácticos todos los principios corridos y la mar en coche, son iguales... buh, son muy parecidos de resolver.

Ejercicios de la guía:

1.

i) Reescribir cada una de las siguientes sumas usando el símbolo de sumatoria

a) $1 + 2 + 3 + 4 + \cdots + 100$

d) $1 + 9 + 25 + 49 + \cdots + 441$

b) $1 + 2 + 4 + 8 + 16 + \cdots + 1024$

e) $1 + 3 + 5 + \cdots + (2n + 1)$

c) $1 + (-4) + 9 + (-16) + 25 + \cdots + (-144)$

f) $n + 2n + 3n + \cdots + n^2$

ii) Reescribir cada una de los siguientes productos usando el símbolo de productoria y/o de factorial.

¿Cómo resolver este ejercicio?

Lo que queremos hacer es compactar la suma para evitar el uso de puntos suspensivos, la notación ideal para esos casos es el símbolo de sumatoria. El primer paso es fijarse en el comportamiento de cada término de nuestra suma. Por ejemplo, en el punto b) notamos que cada término comienza a duplicarse.

i) a) $1 + 2 + 3 + 4 + \cdots + 100 = \sum_{i=1}^{100} i$

b) $1 + 2 + 4 + 8 + 16 + \cdots + 1024 = \sum_{i=0}^{10} 2^i$

c) $1 + (-4) + 9 + (-16) + 25 + \cdots + (-144) = \sum_{i=1}^{12} i^2 (-1)^{n+1}$

d) $1 + 9 + 25 + 49 + \cdots + 441 = \sum_{i=0}^{10} (1 + 2i)^2$

e) $1 + 3 + 5 + \cdots + (2n + 1) = \sum_{i=0}^n 2i + 1$

f) $n + 2n + 3n + \cdots + n^2 = \sum_{i=1}^n in$

ii) a) $5 \cdot 6 \cdots 99 \cdot 100 = \prod_{i=5}^{100} i = \frac{100!}{4!}$

b) $1 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 16 \cdots 1024 = \prod_{i=0}^{10} 2^i$

c) $n \cdot 2n \cdot 3n \cdots n^2 = \prod_{i=1}^n in = n^n \cdot n!$

2. Escribir los dos primeros y los dos últimos términos de las expresiones siguientes

i) $\sum_{i=6}^n 2(i - 5)$

ii) $\sum_{i=n}^{2n} \frac{1}{i(i+1)}$

iii) $\sum_{i=1}^n \frac{n+i}{2i}$

iv) $\sum_{i=1}^{n^2} \frac{n}{i}$

v) $\prod_{i=1}^n \frac{n+i}{2i-3}$

Llamo t_1, t_2 a los primeros términos y t_{m-1}, t_m a los últimos

i) $\sum_{i=6}^n 2(i - 5)$

$t_1 = 2(6 - 5) = 2 \quad t_2 = 2(7 - 5) = 4$

$t_{m-1} = 2((n-1) - 5) = 2n - 12 \quad t_m = 2(n - 5) = 2n - 10$

Pequeña demostración que nadie pidió y probablemente nadie necesite de una forma de llegar a la formulita de la serie geométrica, si: $\sum_{i=0}^n a \cdot q^i = S_{\underbrace{n+1}_{\text{total de términos}}}$

$$\begin{array}{rcl} S_{n+1} & = & a \cdot (1 + q + q^2 + \dots + q^n) \\ - & & \\ q \cdot S_{n+1} & = & a \cdot (q + q^2 + \dots + q^n + q^{n+1}) \\ \hline (1-q)S_{n+1} & = & a \cdot (1 - q^{n+1}) \end{array} \xleftrightarrow{q \neq 0} S_{n+1} = a \cdot \frac{1 - q^{n+1}}{1 - q} = a \cdot \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1}$$

i) *Formulini geométrini:*

$$\sum_{i=0}^n 2^i = \frac{2^{n+1} - 1}{2 - 1} = 2^{n+1} - 1$$

ii)

$$\sum_{i=1}^n q^i = -1 + 1 + \sum_{i=1}^n q^i = -1 + \sum_{i=0}^n q^i = \begin{cases} n + 1 - 1 = n & \text{si } q = 1 \\ \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1} - 1 = \frac{q^{n+1} - q}{q - 1} & \text{si } q \neq 1 \end{cases}$$

iii)

$$\sum_{i=0}^n q^{2i} \stackrel{!}{=} 1 + \sum_{i=1}^n q^{2i} = \begin{cases} 1 + \underbrace{q^2 + q^4 + \dots + (q^{n-1})^2 + q^{2n}}_{n \text{ elementos}} & = n + 1 & \text{si } q = \pm 1 \\ 1 + \underbrace{(q^2)^1 + (q^2)^2 + \dots + (q^2)^{n-1} + (q^2)^n}_{n \text{ elementos}} & \stackrel{!}{=} \frac{(q^2)^{n+1} - q^2}{q^2 - 1} + 1 = \frac{q^{2(n+1)} - 1}{q^2 - 1} & \text{si } q \neq \pm 1 \end{cases}$$

iv)

$$\sum_{i=n}^{2n} q^i \stackrel{!!}{=} \begin{cases} 1^n \cdot (1 + 1^1 + 1^2 + \dots + 1^{n-1} + 1^n) & = n + 1 & \text{si } q = 1 \\ q^n \cdot (1 + q + q^2 + \dots + q^n) & = q^n \cdot \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1} & \text{si } q \neq 1 \end{cases}$$

Si no caes en el !!, escribí todo y después sacá factor común. La idea es que queda más fácil para contar la cantidad de términos que hay.

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

👉 naD GarRaz 🐼

👉 Ale Teran 🐼

5. Probar que, $\forall n \in \mathbb{N}, \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2$:

i) Contando de dos maneras la cantidad total de cuadraditos del diagrama.



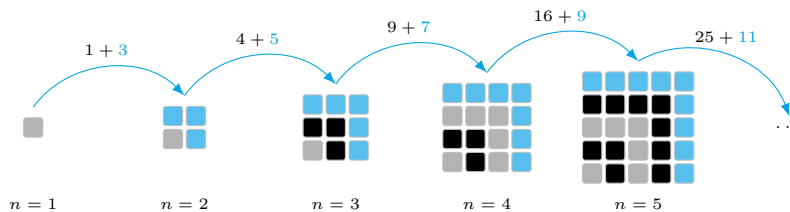
ii) Usando la suma aritmética (o suma de Gauss).

iii) Usando el principio de inducción.

i) La forma fácil de contar sería multiplicando la cantidad de filas por la cantidad de columnas:

$$7 \cdot 7 = 49$$

También puedo sumar los cuadradito construyendo la matriz, sumando 2 nuevas filas menos 1 **cuadradito** que me sobrará:



La verdad que no sé si esto era la idea, pero bueh, así estaría dando la fórmula.

ii) Gauss

$$\frac{n \cdot (n+1)}{2} = \sum_{i=1}^n i$$

Partiendo de la fórmula del enunciado:

$$\sum_{i=1}^n 2i - 1 = 2 \sum_{i=1}^n i - \sum_{i=1}^n 1 \stackrel{!}{=} 2 \frac{n \cdot (n+1)}{2} - n = n^2 + n - n = n^2$$

iii) Quiero probar que la siguiente proposición es verdadera:

$$p(n) : \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2 \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base :

$$p(1) : \sum_{i=1}^1 2i - 1 = 1 = 1^2 \implies p(1)$$

$p(1)$ resultó verdadera.

Paso inductivo:

Para algún $h \in \mathbb{N}$ asumo que

$$p(h) : \underbrace{\sum_{i=1}^h 2i - 1}_{\text{hipótesis inductiva}} = h^2$$

es verdadera, entonces quiero probar que la proposición:

$$p(h+1) : \sum_{i=1}^{h+1} 2i - 1 = (h+1)^2$$

también lo sea.

Acomodo la sumatoria y uso la **hipótesis inductiva**:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{h+1} 2i - 1 &= (h+1)^2 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^{h+1} 2i - 1 = (h+1)^2 \\ &\Leftrightarrow \sum_{i=1}^h (2i - 1) + 2(h+1) - 1 \stackrel{HI}{=} h^2 + 2h + 1 = (h+1)^2 \end{aligned}$$

Dado que $p(1)$, $p(h)$, $p(h+1)$ resultaron verdaderas, por criterio de inducción también lo es $p(n) \in \mathbb{N}$

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 ↑](#)

6. (Suma de cuadrados y de cubos) Probar que para todo $n \in \mathbb{N}$ se tiene

$$\text{i) } \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

$$\text{ii) } \sum_{i=1}^n i^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4}$$

$$\text{i) } \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

Proposición: $p(n) : \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \quad \forall n \in \mathbb{N}$

Caso base: $p(1)$ verdadero $\iff \sum_{i=1}^1 i^2 = \frac{1(1+1)(2 \cdot 1+1)}{6} \iff 1 = \frac{2 \cdot 3}{6} \iff 1 = 1 \quad \checkmark$

Paso Inductivo: Sea $k \in \mathbb{N}$. Supongo $\underbrace{p(k)}_{\text{HI}}$ verdadero, quiero ver que $p(k+1)$ verdadero.

$$\begin{aligned} p(k+1) \text{ Verdadero} &\iff \sum_{i=1}^{k+1} i^2 = \frac{(k+1)((k+1)+1)(2(k+1)+1)}{6} \\ &\iff \left(\sum_{i=1}^k i^2 \right) + (k+1)^2 = \frac{(k+1)(k+2)(2k+3)}{6} \\ &\stackrel{\text{HI}}{\iff} \frac{k(k+1)(2k+1)}{6} + (k+1)^2 = \frac{(k+1)(k+2)(2k+3)}{6} \\ &\iff k(k+1)(2k+1) + 6(k+1)^2 = (k+1)(k+2)(2k+3) \\ &\iff k(2k+1) + 6(k+1) = (k+2)(2k+3) \\ &\iff 2k^2 + 7k + 6 = 2k^2 + 7k + 6 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Como se cumple tanto el *caso base* como el *paso inductivo*, por el principio de inducción $p(n)$ es verdadero $\forall n \in \mathbb{N}$.

$$\text{ii) } \sum_{i=1}^n i^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4}$$

$P(n) : \sum_{i=1}^n i^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4} \quad \forall n \in \mathbb{N}$

Caso Base: $P(1) : \sum_{i=1}^1 i^3 = \frac{1^2(1+1)^2}{4} \iff 1 = \frac{4}{4} \iff 1 = 1 \quad \checkmark$

Paso Inductivo: Sea $k \in \mathbb{N}$. Supongo $\underbrace{P(k)}_{\text{HI}}$ Verdadero, quiero ver que $P(k+1)$ Verdadero.

$$\begin{aligned} P(k+1) \text{ Verdadero} &\iff \sum_{i=1}^{k+1} i^3 = \frac{(k+1)^2((k+1)+1)^2}{4} \\ &\iff \left(\sum_{i=1}^k i^3 \right) + (k+1)^3 = \frac{(k+1)^2(k+2)^2}{4} \\ &\stackrel{\text{HI}}{\iff} \frac{k^2(k+1)^2}{4} + (k+1)^3 = \frac{(k+1)^2(k+2)^2}{4} \\ &\iff k^2(k+1)^2 + 4(k+1)^3 = (k+1)^2(k+2)^2 \\ &\iff k^2 + 4(k+1) = (k+2)^2 \\ &\iff k^2 + 4k + 4 = k^2 + 4k + 4 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Como se cumple tanto el caso base como el paso inductivo, por el principio de inducción $P(n)$ es verdadero $\forall n \in \mathbb{N}$.

7. Probar que para todo $n \in \mathbb{N}$ se tiene

- i) $\sum_{i=1}^n (-1)^{i+1} i^2 = \frac{(-1)^{n+1} n(n+1)}{2}$ iv) $\prod_{i=1}^n (1 + a^{2^{i-1}}) = \frac{1-a^{2^n}}{1-a}, a \in \mathbb{R} - \{1\}$
- ii) $\sum_{i=1}^n (2i+1)3^{i-1} = n3^n$ v) $\prod_{i=1}^n \frac{n+i}{2i-3} = 2^n(1-2n)$
- iii) $\sum_{i=1}^n \frac{i2^i}{(i+1)(i+2)} = \frac{2^{n+1}}{n+2} - 1$

i) *Proposición:*

$$p(n) : \sum_{i=1}^n (-1)^{i+1} i^2 = \frac{(-1)^{n+1} n(n+1)}{2} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : \sum_{i=1}^1 (-1)^{i+1} i^2 = (-1)^2 \cdot 1 = 1 \stackrel{!}{=} \frac{(-1)^{1+1} 1(1+1)}{2} = 1 \quad \checkmark$$

$p(1)$ resulta ser verdadera.

Paso inductivo: Asumo que

$$p(k) : \underbrace{\sum_{i=1}^k (-1)^{i+1} i^2 = (-1)^{k+1} \frac{k(k+1)}{2}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero ver que:

$$p(k+1) : \sum_{i=1}^{k+1} (-1)^{i+1} i^2 = (-1)^{(k+1)+1} \frac{(k+1)(k+1+1)}{2}.$$

también lo sea.

Para probar arranco de $p(k+1)$ y en medio uso la **hipótesis inductiva** para resolver:

$$\sum_{i=1}^{k+1} (-1)^{i+1} i^2 = \sum_{i=1}^k (-1)^{i+1} i^2 + (-1)^{k+2} (k+1)^2 \stackrel{\text{HI}}{=} (-1)^{k+1} \frac{k(k+1)}{2} + (-1)^k (-1)^2 (k+1)^2 \stackrel{!!!}{=} (-1)^k (k+1) \frac{(k+2)}{2} \quad \checkmark$$

Por lo tanto $p(k+1)$ resulta ser verdadera también.

Si te quedaste ahí pedaleando en el aire en el **!!!** es solo acomodar la expresión, nada raro, algún factor común, $\underbrace{(-1)^2 = 1}_{\oplus}$ y coso... **power!**. Si lo hago yo es puro spoiler y no ganás nada.

Dado que $p(1)$, $p(k)$, $p(k+1)$ resultaron verdaderas, por criterio de inducción también lo es $p(n) \in \mathbb{N}$

ii) *Proposición:*

$$p(n) : \sum_{i=1}^n (2i+1)3^{i-1} = n3^n \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : \sum_{i=1}^1 (2i+1)3^{i-1} = (2 \cdot 1 + 1) \cdot 3^{1-1} = 3 \stackrel{!}{=} 1 \cdot 3^1 = 3$$

$p(1)$ resulta ser verdadera

Paso inductivo: Asumo que

$$\underbrace{p(k) : \sum_{i=1}^n (2i+1)3^{i-1} = k3^k}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero ver que

$$p(k+1) : \sum_{i=1}^{k+1} (2i+1)3^{i-1} = (k+1)3^{k+1}$$

también lo sea.

Muy parecido al ejercicio anterior:

$$\sum_{i=1}^{k+1} (2i+1)3^{i-1} = \sum_{i=1}^k (2i+1)3^{i-1} + (2(k+1)+1)3^{(k+1)-1} \stackrel{\text{HI}}{=} k3^k + 3^k(2k+3) \stackrel{\text{!!!}}{=} (k+1) \cdot 3^{k+1}$$

Y sí, en el **!!!** hay más cuentas. Pero ya a esta altura te vas dando cuenta de que la parte de *inducción* no estaría siendo el desafío, sino que (en estos ejercicios) son las cuentas, por eso mirá fijo las cuentas y dale tiempo a tu 🧠 para que encuentre el factor común etc ¡Curtite, vieja!. Las cuentas son en gran medida lo que complica los parciales, no tanto los temas.

Dado que $p(1)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas, por el criterio de inducción también lo es $p(n) \in \mathbb{N}$

iii) *Proposición:* $p(n) : \sum_{i=1}^n \frac{i2^i}{(i+1)(i+2)} = \frac{2^{n+1}}{n+2} - 1 \quad \forall n \in \mathbb{N}$

Caso base: $p(1) : \sum_{i=1}^1 \frac{i2^i}{(i+1)(i+2)} = \frac{1 \cdot 2^1}{(1+1)(1+2)} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3} = \frac{2^2-3}{1+2} \implies p(1) \text{ es verdadera } \checkmark$

Paso inductivo: Asumo $p(n) : \sum_{i=1}^n \frac{i2^i}{(i+1)(i+2)} = \frac{2^{n+1}}{n+2} - 1$ como verdadera.

$\implies p(n+1) : \text{quiero ver que } \sum_{i=1}^{n+1} \frac{i2^i}{(i+1)(i+2)} = \frac{2^{(n+1)+1}}{(n+1)+2} - 1 \text{ también lo sea.}$

$$\sum_{i=1}^{n+1} \frac{i2^i}{(i+1)(i+2)} = \sum_{i=1}^n \frac{i2^i}{(i+1)(i+2)} + \frac{(n+1)2^{n+1}}{((n+1)+1)((n+1)+2)} \stackrel{\text{HI}}{=} \frac{2^{n+1}}{n+2} - 1 + \frac{(n+1)2^{n+1}}{((n+1)+1)((n+1)+2)}$$

Si $\frac{2^{n+1}}{n+2} - 1 + \frac{(n+1)2^{n+1}}{((n+1)+1)((n+1)+2)} = \frac{2^{(n+1)+1}}{(n+1)+2} - 1 \implies \text{sera verdadero}$

$$\begin{aligned} \frac{2^{n+1}}{n+2} - 1 + \frac{(n+1)2^{n+1}}{(n+2)(n+3)} &= \frac{2^{n+2}}{n+3} - 1 \\ (n+3) \frac{2^{n+1}}{n+2} + \frac{(n+1)2^{n+1}}{(n+2)} &= 2^{n+2} \\ (n+3)2^{n+1} + (n+1)2^{n+1} &= 2^{n+2}(n+2) \\ (n+3) + (n+1) &= 2(n+2) \\ 2n+4 &= 2(n+2) \\ 2n+4 &= 2n+4 \\ 0 &= 0 \end{aligned}$$

iv) $\prod_{i=1}^n (1 + a^{2^{i-1}}) = \frac{1-a^{2^n}}{1-a}$

Caso Base:

$$p(1) : \prod_{i=1}^1 (1 + a^{2^{i-1}}) = 1 + a^{2^0} = 1 + a = \frac{1 - a^{2^1}}{1 - a} = \frac{(1 - a)(1 + a)}{1 - a} = 1 + a \quad \checkmark$$

Por lo cual $p(1)$ resultó ser verdadera.

Paso inductivo :

$$p(k) : \text{Asumo que } \underbrace{\prod_{i=1}^k (1 + a^{2^{i-1}}) = \frac{1 - a^{2^k}}{1 - a}}_{\text{hipótesis inductiva}} \text{ es verdadera.}$$

Entonces quiero ver que:

$$p(k+1) : \prod_{i=1}^{k+1} (1 + a^{2^{i-1}}) = \frac{1 - a^{2^{k+1}}}{1 - a}$$

también lo sea.

Arranco de $p(k+1)$ y usando la hipótesis inductiva trato de llegar al valor esperado:

$$\prod_{i=1}^{k+1} (1 + a^{2^{i-1}}) \stackrel{!}{=} (1 + a^{2^k}) \cdot \prod_{i=1}^k (1 + a^{2^{i-1}}) \stackrel{\text{HI}}{=} (1 + a^{2^k}) \cdot \frac{1 - a^{2^k}}{1 - a} \stackrel{!!}{=} \frac{1 - (a^{2^k})^2}{1 - a} = \frac{1 - a^{2 \cdot 2^k}}{1 - a} = \frac{1 - a^{2^{k+1}}}{1 - a} \quad \checkmark$$

Si te quedaste pedaleando en los $!$, pensá en *diferencia de cuadrados, propiedades de potencias* y coso 🤖.

Esto muestra que $p(k+1)$ también es verdadera.

Como $p(1)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas por el principio de inducción $p(n)$ es verdadera $\forall n \in \mathbb{N}$.

$$v) \prod_{i=1}^n \frac{n+i}{2i-3} = 2^n(1-2n)$$

En este ejercicio conviene abrir la productoria y acomodar los factores. Por inducción:

$$p(n) : \prod_{i=1}^n \frac{n+i}{2i-3} = 2^n(1-2n)$$

Caso Base:

$$p(1) : \prod_{i=1}^1 \frac{1+i}{2i-3} = \frac{1+1}{2 \cdot 1 - 3} = 2^1(1-2 \cdot 1) = -2$$

Paso inductivo:

$$p(k) : \underbrace{\prod_{i=1}^k \frac{k+i}{2i-3}}_{\text{hipótesis inductiva}} = 2^k(1-2k) \text{ asumo verdadera para algún } k \in \mathbb{N}$$

$$\xrightarrow[\text{ver que}]{\text{quiero}} p(k+1) : \prod_{i=1}^{k+1} \frac{k+1+i}{2i-3} = 2^{k+1}(1-2(k+1)) \text{ también lo sea para algún } k \in \mathbb{N}.$$

Nota que puede ser de utilidad: Esta productoria tiene a la n en el término general. Cuando pasa esto en el ejercicio, abrir la productoria para acomodar los factores y así formar la HI, suele ser el camino a seguir, **ojo con modificar el término general**.

Fin nota que puede ser de utilidad

$$\prod_{i=1}^k \frac{k+i}{2i-3} = \frac{k+1}{2 \cdot 1 - 3} \cdot \frac{k+2}{2 \cdot 2 - 3} \cdot \frac{k+3}{2 \cdot 3 - 3} \cdots \frac{2k}{2 \cdot k - 3} = 2^k(1-2k)$$

$$\prod_{i=1}^{k+1} \frac{k+1+i}{2i-3} = \frac{k+2}{2 \cdot 1 - 3} \cdot \frac{k+3}{2 \cdot 2 - 3} \cdots \frac{k+1+(k-1)}{2(k-1)-3} \cdot \frac{k+1+k}{2k-3} \cdot \underbrace{\frac{k+1+(k+1)}{2(k+1)-3}}_{2k+2} \stackrel{\star^1}{=} \frac{1}{2 \cdot 1 - 3} \cdot \frac{k+2}{2 \cdot 2 - 3} \cdot \frac{k+3}{2 \cdot 3 - 3} \cdots \frac{2k}{2k-3} \cdot \frac{2k+1}{2(k+1)-3} \cdot \frac{2k+2}{1}$$

$$\stackrel{\star^2}{=} \underbrace{\frac{k+1}{2 \cdot 1 - 3} \cdot \frac{k+2}{2 \cdot 2 - 3} \cdots \frac{2k}{2k-3}}_{\text{hipótesis inductiva}} \cdot \frac{2k+1}{2(k+1)-3} \cdot \frac{2k+2}{k+1} \stackrel{\text{HI}}{=} 2^k(1-2k) \cdot \frac{2k+1}{2(k+1)-3} \cdot \frac{2k+2}{k+1} \stackrel{!}{=} 2^{k+1}(1-2(k+1)) \quad \checkmark$$

En \star^1 Corro los denominadores un lugar hacia la izquierda. Pinto con rojo las fracciones de los bordes solo para ayuda visual.

En \star^2 multiplico por $1 = \frac{k+1}{k+1}$ y lo ubico en los lugares *apropiados* para que me aparezca la **hipótesis inductiva**.

Si te preguntás qué pasó en "!", eso son cuentas, *simplificá, factorizá* y yo que sé, que te dejo a vos, por mi parte yo 🙌.

Como $p(1)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas por el principio de inducción $p(n)$ es verdadera $\forall n \in \mathbb{N}$.

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

👉 Iñaki Frutos 🙌

👉 naD GarRaz 🙌

8. Sea $a, b \in \mathbb{R}$. Probar que para todo $n \in \mathbb{N}$, $a^n - b^n = (a - b) \sum_{i=1}^n a^{i-1} b^{n-i}$. Deducir la fórmula de la serie geométrica: para todo $a \neq 1$, $\sum_{i=0}^n a^i = \frac{a^{n+1} - 1}{a - 1}$.

Quiero probar por inducción:

$$p(n) : a^n - b^n = (a - b) \sum_{i=1}^n a^{i-1} b^{n-i} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : (a^1 - b^1) \sum_{i=1}^1 a^{i-1} \cdot b^{1-i} = a - b = a^1 - b^1$$

Resulta que el caso base es verdadero.

Paso inductivo:

Asumo como verdadero para algún $k \in \mathbb{Z}$:

$$p(k) : a^k - b^k = (a - b) \underbrace{\sum_{i=1}^k a^{i-1} \cdot b^{k-i}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

y quiero probar que:

$$p(k+1) : a^{k+1} - b^{k+1} \stackrel{?}{=} (a - b) \sum_{i=1}^{k+1} a^{i-1} \cdot b^{k+1-i}$$

Arranco por el paso $k+1$ y busco de usar la **hipótesis inductiva** para probar lo que quiero:

$$(a - b) \sum_{i=1}^{k+1} a^{i-1} \cdot b^{k+1-i} \stackrel{!!}{=} b \cdot (a - b) \sum_{i=1}^{k+1} a^{i-1} \cdot b^{k-i} \stackrel{!}{=} b \cdot (a - b) \left(\sum_{i=1}^k a^{i-1} \cdot b^{k-i} + a^k \cdot b^{-1} \right) \stackrel{\star^1}{=}$$

En el !! hice un factor común y en el ! el truquito de separar un término de la sumatoria. Acomodo la expresión:

$$\stackrel{\star^1}{=} b \cdot (a - b) \sum_{i=1}^k a^{i-1} \cdot b^{k-i} + (a^{k+1} - a^k b) \stackrel{HI}{=} b \cdot (a^k - b^k) + (a^{k+1} - a^k b) = a^{k+1} - b^{k+1}$$

Por lo que $p(k+1)$ es verdadero.

Como $p(1)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas, por el principio de inducción $p(n)$ también lo es $\forall n \in \mathbb{N}$.

Para deducir la fórmula de la serie geométrica pongo $b = 1$ en la expresión original:


$$a^n - 1 = (a - 1) \sum_{i=1}^n a^{i-1} \cdot 1 \stackrel{a \neq 1}{\iff} \frac{a^n - 1}{a - 1} = \sum_{i=1}^n a^{i-1}$$

Multiplico por a miembro a miembro:

$$a \cdot \frac{a^n - 1}{a - 1} = a \cdot \sum_{i=1}^n a^{i-1} \stackrel{!}{\Leftrightarrow} \frac{a^{n+1} - a}{a - 1} = \sum_{i=1}^n a^i \stackrel{!!}{=} -1 + \sum_{i=0}^n a^i$$

Por lo tanto:

$$\frac{a^{n+1} - a}{a - 1} = -1 + \sum_{i=0}^n a^i \stackrel{!}{\Leftrightarrow} \boxed{\frac{a^{n+1} - 1}{a - 1} = \sum_{i=0}^n a^i}$$

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

 naD  GarRaz 

9.

- i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ una sucesión de números reales. Probar que $\sum_1^n (a_{i+1} - a_i) = a_{n+1} - a_1$.
- ii) Calcular $\sum_1^n \frac{1}{i(i+1)}$ (Sugerencia: $\frac{1}{i(i+1)} = \frac{1}{i} - \frac{1}{i+1}$).
- iii) Calcular $\sum_1^n \frac{1}{(2i-1)(2i+1)}$ (Sugerencia: calcular $\frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2i+1}$).

- i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ una sucesión de números reales. Sea $n \in \mathbb{N}$ y

$$P(n) : \sum_1^n (a_{i+1} - a_i) = a_{n+1} - a_1$$

- 1) Caso base, $n = 1$:

$$P(1) : \sum_{i=1}^1 (a_{i+1} - a_i) = a_{1+1} - a_1$$

$$P(1) : a_2 - a_1 = a_2 - a_1$$

$$P(1) : V$$

- 2) Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

$$\text{HI. } P(n) : V$$

$$\text{TI. } P(n+1) : \sum_{i=1}^{n+1} (a_{i+1} - a_i) = a_{n+2} - a_1$$

Desarrollo la TI:

$$P(n+1) : \sum_{i=1}^{n+1} (a_{i+1} - a_i) = a_{n+2} - a_{n+1} + \sum_1^n (a_{i+1} - a_i) \stackrel{\text{HI}}{=} a_{n+2} - a_{n+1} + a_{n+1} - a_1$$

$$P(n+1) : \sum_{i=1}^{n+1} (a_{i+1} - a_i) = a_{n+2} - a_1$$

$$P(n+1) : V$$

Tenemos que

$$P(1) : V$$

$$P(n) : V \implies P(n+1) : V$$

y esto implica que $P(n) : V \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

$$\begin{aligned} \text{ii)} \quad \sum_1^n \frac{1}{i(i+1)} &= \sum_1^n \left(\frac{1}{i} - \frac{1}{i+1} \right) = - \sum_1^n \left(\frac{1}{i+1} - \frac{1}{i} \right) \stackrel{\text{Aux}}{=} - \left(\frac{1}{n+1} - \frac{1}{1} \right) \\ &= - \left(\frac{1-(n+1)}{n+1} \right) = - \left(\frac{-n}{n+1} \right) = \frac{n}{n+1} \end{aligned}$$

Auxiliar

Sea $a_n = \frac{1}{n}$, donde $n \in \mathbb{N}$. Queremos calcular $\sum_1^n \left(\frac{1}{i+1} - \frac{1}{i} \right)$.

$$\sum_1^n \left(\frac{1}{i+1} - \frac{1}{i} \right) = \sum_1^n (a_{i+1} - a_i) \stackrel{9.i)}{=} a_{n+1} - a_1 = \frac{1}{n+1} - \frac{1}{1}$$

$$\begin{aligned} \text{iii)} \quad \sum_1^n \frac{1}{(2i-1)(2i+1)} &\stackrel{\text{Aux.1}}{=} \sum_1^n \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2i+1} \right) = \frac{1}{2} \sum_1^n \left(\frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2i+1-2+2} \right) \\ &= \frac{1}{2} \sum_1^n \left(\frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2i+2-2+1} \right) = \frac{1}{2} \sum_1^n \left(\frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2(i+1)-2+1} \right) \\ &= \frac{1}{2} \sum_1^n \left(\frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2(i+1)-1} \right) = \frac{1}{2} \sum_1^n - \left(\frac{1}{2(i+1)-1} - \frac{1}{2i-1} \right) \\ &= -\frac{1}{2} \sum_1^n \left(\frac{1}{2(i+1)-1} - \frac{1}{2i-1} \right) \stackrel{\text{Aux.2}}{=} -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2(n+1)-1} - \frac{1}{2 \cdot 1 - 1} \right) \\ &= -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2n+1} - 1 \right) = -\frac{1}{2} \left(\frac{1-(2n+1)}{2n+1} \right) = -\frac{1}{2} \left(\frac{-2n}{2n+1} \right) \\ &= \frac{n}{2n+1} \end{aligned}$$

Auxiliar 1


Calculamos la sugerencia dada

$$\begin{aligned} \frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2i+1} &= \frac{2i+1-(2i-1)}{(2i-1)(2i+1)} = \frac{2i+1-2i+1}{(2i-1)(2i+1)} = \frac{2}{(2i-1)(2i+1)} \\ \frac{2}{(2i-1)(2i+1)} &= \frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2i+1} \\ \frac{1}{(2i-1)(2i+1)} &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2i-1} - \frac{1}{2i+1} \right) \end{aligned}$$


Auxiliar 2


Sea $a_n = \frac{1}{2n-1}$, donde $n \in \mathbb{N}$. Queremos calcular $\sum_1^n \left(\frac{1}{2(i+1)-1} - \frac{1}{2i-1} \right)$.

$$\sum_1^n \left(\frac{1}{2(i+1)-1} - \frac{1}{2i-1} \right) = \sum_1^n (a_{i+1} - a_i) \stackrel{9i)}{=} a_{n+1} - a_1 = \frac{1}{2(n+1)-1} - \frac{1}{2 \cdot 1 - 1}$$

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

 Marcos Zea 

 Errores? **Avisá acá** así se corrige y ganamos todos.

Compilado: 14/09/25 @ 11:50 . Chequeá si hay una **versión nueva**  **acá**.

[Ir a índice ↑](#)

10. Probar que las siguientes desigualdades son verdaderas para todo $n \in \mathbb{N}$

- | | |
|---|--|
| i) $3^n + 5^n \geq 2^{n+2}$ | v) $\sum_{i=1}^{2^n} \frac{1}{2^i-1} > \frac{n+3}{4}$ |
| ii) $3^n \leq n^3$ | |
| iii) $\sum_{i=1}^n \frac{n+i}{i+1} \leq 1 + n(n-1)$ | vi) $\sum_{i=1}^n \frac{1}{i!} \leq 2 - \frac{1}{2^{n-1}}$ |
| iv) $\sum_{i=n}^{2n} \frac{i}{2^i} \leq n$ | vii) $\prod_{i=1}^n \frac{4i-1}{n+i} \geq 1$ |

i) $P(n) : 3^n + 5^n \geq 2^{n+2}, n \in \mathbb{N}$

1) Caso base, $n = 1$:

$$P(1) : 3^1 + 5^1 \geq 2^{1+2}$$

$$P(1) : 8 \geq 8 \implies P(1) : V$$

2) Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : 2^{n+3} \leq 3^{n+1} + 5^{n+1}$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad:

$$2^{n+3} = 2 \cdot 2^{n+2} \stackrel{\text{HI}}{\leq} 2 \cdot (3^n + 5^n) = 2 \cdot 3^n + 2 \cdot 5^n \leq 3 \cdot 3^n + 5 \cdot 5^n = 3^{n+1} + 5^{n+1}$$

$$2^{n+3} \leq 3^{n+1} + 5^{n+1}$$

$$\implies P(n+1) : V$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $\forall n \in \mathbb{N}, P(n) : V$.

ii) $P(n) : 3^n \geq n^3, n \in \mathbb{N}$.

1) Caso base, $n = 1$:

$$P(1) : 3^1 \geq 1^3$$

$$P(1) : 3 \geq 1 \implies P(1) : V$$

2) Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : 3^{n+1} \geq (n+1)^3$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad:

$$3^{n+1} = 3 \cdot 3^n \stackrel{\text{HI}}{\geq} 3 \cdot n^3 \stackrel{\text{Aux}}{\geq} (n+1)^3, n \geq 3$$

$$3^{n+1} \geq (n+1)^3, n \geq 3$$

$$\implies P(n+1) : V, n \geq 3$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo, este último para los $n \geq 3$. Como solo probamos el paso inductivo para $n \geq 3$, deberíamos ver que $P(2)$ y $P(3)$ son verdaderas.

$$P(2) : 3^2 \geq 2^3 \implies P(2) : 9 \geq 8 \implies P(2) : V$$

$$P(3) : 3^3 \geq 3^3 \implies P(3) : V$$

Tenemos que

$$P(1) : V \wedge P(2) : V \wedge P(3) : V$$

$$\text{si } n \geq 3, P(n) : V \implies P(n+1) : V$$

Concluimos que $\forall n \in \mathbb{N}, P(n) : V$.

Auxiliar

$$\begin{aligned}
 3n^3 \geq (n+1)^3 &\iff \sqrt[3]{3n^3} \geq \sqrt[3]{(n+1)^3} \iff \sqrt[3]{3n} \geq n+1 \iff \sqrt[3]{3n} - n \geq 1 \\
 &\iff n(\sqrt[3]{3} - 1) \geq 1 \iff n \geq \frac{1}{\sqrt[3]{3}-1} \approx 2.6 \iff n \geq 3 \\
 \therefore 3n^3 \geq (n+1)^3 &\iff n \geq 3
 \end{aligned}$$

iii) $P(n) : \sum_{i=1}^n \frac{n+i}{1+i} \leq 1 + n(n-1), \quad n \in \mathbb{N}.$

1) Caso base, $n = 1$:

$$\begin{aligned}
 P(1) : \sum_{i=1}^1 \frac{1+i}{1+i} &\leq 1 + 1(1-1) \\
 P(1) : \frac{1+1}{1+1} &\leq 1 \implies P(1) : V
 \end{aligned}$$

2) Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$

TI. $\sum_{i=1}^{n+1} \frac{n+1+i}{1+i} \leq 1 + (n+1)n$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^{n+1} \frac{n+1+i}{1+i} &= \frac{2(n+1)}{n+2} + \sum_{i=1}^n \frac{n+1+i}{1+i} = \frac{2(n+1)}{n+2} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{1+i} + \frac{n+i}{1+i} \right) \\
 &= \frac{2(n+1)}{n+2} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{1+i} + \sum_{i=1}^n \frac{n+i}{1+i} \stackrel{\text{Aux}}{\leq} \frac{2(n+1)}{(n+1)} + \sum_{i=1}^n 1 + \sum_{i=1}^n \frac{n+i}{1+i} \stackrel{*}{=} \\
 &\stackrel{*}{=} 2 + n + \sum_{i=1}^n \frac{n+i}{1+i} \stackrel{\text{HI}}{\leq} 2 + n + 1 + n(n-1) = 2 + n + 1 + n^2 - n \stackrel{**}{=} \\
 &\stackrel{**}{=} 1 + n^2 + 2 \stackrel{(2 \leq n)}{\leq} 1 + n^2 + n = 1 + (n+1)n \\
 \implies \sum_{i=1}^{n+1} \frac{n+1+i}{1+i} &\leq 1 + (n+1)n, \text{ si } n \geq 2 \\
 \implies P(n+1) : V, \text{ si } n &\geq 2
 \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo, este último para los $n \geq 2$. Como solo probamos el paso inductivo para $n \geq 2$, deberíamos ver que $P(2)$ es verdadera.

$$\begin{aligned}
 P(2) : \sum_{i=1}^2 \frac{2+i}{1+i} &\leq 1 + 2(2-1) \\
 P(2) : \frac{2+1}{1+1} + \frac{2+2}{1+2} &\leq 3 \\
 P(2) : \frac{17}{6} &\leq 3 \implies P(2) : V
 \end{aligned}$$

Tenemos que

$$P(1) : V \wedge P(2) : V$$

$$\text{si } n \geq 2, P(n) : V \implies P(n+1) : V$$

Concluimos que $\forall n \in \mathbb{N}, P(n) : V$.

Auxiliar

Acotemos $1/(n+2)$

$$n+1 \leq n+2, \quad \forall n \in \mathbb{N} \iff \frac{1}{n+2} \leq \frac{1}{n+1}, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Acotemos la sumatoria

$$\frac{1}{1+i} \leq 1, \quad \forall i \in \mathbb{N} \implies \sum_{i=1}^n \frac{1}{1+i} \leq \sum_{i=1}^n 1$$

iv) Quiero probar que la proposición:

$$p(n) : \sum_{i=n}^{2n} \frac{i}{2^i} \leq n \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

es verdadera.

Caso base:

El predicado $p(n)$ cuando $n = 1$

$$p(1) : \sum_{i=1}^{2 \cdot 1} \frac{i}{2^i} = \frac{1}{2} + \frac{2}{4} = 1 \leq 1$$

es inmediatamente verdadero.

Paso inductivo

Asumo que para algún $k \in \mathbb{N}$ la proposición:

$$p(k) : \underbrace{\sum_{i=k}^{2k} \frac{i}{2^i}}_{\text{hipótesis inductiva}} \leq k$$

es verdadera. Entonces quiero probar que la proposición:

$$p(k+1) : \sum_{i=k+1}^{2(k+1)} \frac{i}{2^i} \leq k+1$$

también lo sea.

Esa sumatoria se puede acomodar para poder usar la **hipótesis inductiva**. Sumo un 0 para agregar un término y luego le saco a la sumatoria los que tiene demás en comparación al paso k :

$$\begin{aligned} \sum_{i=k+1}^{2(k+1)} \frac{i}{2^i} &\stackrel{!!}{=} \underbrace{\frac{-k}{2^k} + \frac{k}{2^k}}_{=0} + \left(\sum_{i=k+1}^{2k} \frac{i}{2^i} \right) + \frac{2k+1}{2^{2k+1}} + \frac{2k+2}{2^{2k+2}} \\ &\stackrel{!}{=} \frac{-k}{2^k} + \frac{2k+1}{2^{2k+1}} + \frac{2k+2}{2^{2k+2}} + \sum_{i=k}^{2k} \frac{i}{2^i} \\ &\stackrel{HI}{\leq} \underbrace{\frac{-k}{2^k} + \frac{2k+1}{2^{2k+1}} + \frac{2k+2}{2^{2k+2}}}_{\star^1} + k \end{aligned}$$

Para que la proposición $p(k+1)$ sea verdadera necesito que \star^1 sea menor o igual a 1:

$$\begin{aligned} \frac{-k}{2^k} + \frac{2k+1}{2^{2k+1}} + \frac{2k+2}{2^{2k+2}} \leq 1 &\stackrel{!!}{\iff} 6k+4 \leq (2^{k+2} \cdot k + 2^{2k+2}) \star^2 \\ &\iff \begin{cases} 6 < 2^{k+2} & \forall k \in \mathbb{N} \\ 4 < 2^{2k+2} & \forall k \in \mathbb{N} \end{cases} \end{aligned}$$

En el !! saqué denominador común y acomodé un poco la expresión, nada raro. Esa expresión en ★² es súper verdadera para todo k , fijate que la acomodé parecida, .

¿Lo querés probar por inducción? *Be my guest*, yo no pienso hacerlo.

Esto probaría que ★¹ ≤ 1 por lo tanto la proposición $p(k+1)$ resultó verdadera.

Dado que $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas, por principio de inducción también lo es $p(n) \forall n \in \mathbb{N}$

v) Quiero probar que la proposición

$$p(n) : \sum_{i=1}^{2^n} \frac{1}{2i-1} > \frac{n+3}{4}, n \in \mathbb{N}$$

es verdadera.

Caso base:

$$p(1) : \sum_{i=1}^{2^1} \frac{1}{2i-1}$$

Es verdadera inmediatamente:

$$\sum_{i=1}^{2^1} \frac{1}{2i-1} = 1 + \frac{1}{3} > \frac{1+3}{4} = 1$$

Paso inductivo:

Asumo que para algún $k \in \mathbb{N}$ la proposición

$$p(k) : \underbrace{\sum_{i=1}^{2^k} \frac{1}{2i-1} > \frac{k+3}{4}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : \sum_{i=1}^{2^{k+1}} \frac{1}{2i-1} > \frac{(k+1)+3}{4}$$

también lo sea.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{2^{k+1}} \frac{1}{2i-1} & \stackrel{!}{=} \sum_{i=1}^{2 \cdot 2^k} \frac{1}{2i-1} \\ & \stackrel{!!!}{=} \sum_{i=1}^{2^k} \frac{1}{2i-1} + \sum_{i=2^k+1}^{2 \cdot 2^k} \frac{1}{2i-1} \\ & \stackrel{\text{HI}}{>} \frac{k+3}{4} + \underbrace{\sum_{i=2^k+1}^{2 \cdot 2^k} \frac{1}{2i-1}}_{\star^1} \end{aligned}$$

Nuevamente *hay que acotar*. Quiero llegar a $\frac{k+4}{4}$, por lo tanto si pruebo que ★¹ es mayor o igual que $\frac{1}{4}$ entonces logro lo buscado.

Voy a abrir la sumatoria para ver si puedo encontrar una cota inferior para cada término de la sumatoria:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=2^k+1}^{2 \cdot 2^k} \frac{1}{2i-1} &= \frac{1}{2^{k+1}+1} + \frac{1}{2^{k+1}+2} + \cdots + \frac{1}{2^{k+1}+2^k+2} \\
 &\stackrel{!!!}{>} \frac{1}{2^{k+1}+2^k+2} + \frac{1}{2^{k+1}+2^k+2} + \cdots + \frac{1}{2^{k+1}+2^k+2} \\
 &= \frac{1}{3 \cdot 2^k+2} + \frac{1}{3 \cdot 2^k+2} + \cdots + \frac{1}{3 \cdot 2^k+2} \\
 &\stackrel{!}{>} \frac{1}{3 \cdot 2^k+6} + \frac{1}{3 \cdot 2^k+6} + \cdots + \frac{1}{3 \cdot 2^k+6} \\
 &\stackrel{!}{=} \frac{2^k+2}{3 \cdot 2^k+6} \\
 &= \frac{2^k+2}{3 \cdot (2^k+2)} \\
 &= \frac{1}{3} \\
 &> \frac{1}{4}
 \end{aligned}$$

Mostrando así que \star^1 es efectivamente mayor que $\frac{1}{4}$. Si te perdiste en la acotación, la idea fue acotar por el término más chico de todos, *el último*. Una vez que tooodos los términos son iguales, sumé. Recordar que mientras más grande el *denominador*, más chico es el número.

Por lo tanto quedó que $p(k+1)$ es verdadera.

Dado que $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas, por principio de inducción también lo es $p(n) \forall n \in \mathbb{N}$

vi) $P(n) : \sum_{i=1}^n \frac{1}{i!} \leq 2 - \frac{1}{2^{n-1}}, n \in \mathbb{N}.$

1) Caso base, $n = 1$:

$$\begin{aligned}
 P(1) : \sum_{i=1}^1 \frac{1}{i!} &\leq 2 - \frac{1}{2^{1-1}} \\
 P(1) : \frac{1}{1} &\leq 1 \implies P(1) : V
 \end{aligned}$$

2) Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : \sum_{i=1}^{n+1} \frac{1}{i!} \leq 2 - \frac{1}{2^n}$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^{n+1} \frac{1}{i!} &= \frac{1}{(n+1)!} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{i!} \stackrel{\text{HI}}{\leq} \frac{1}{(n+1)!} + 2 - \frac{1}{2^{n-1}} = \frac{1}{(n+1)!} + 2 - \frac{2}{2^n} \stackrel{*}{=} \\
 &\stackrel{*}{=} 2 - \frac{1}{2^n} - \frac{1}{2^n} + \frac{1}{(n+1)!} \stackrel{\text{Aux}}{\leq} 2 - \frac{1}{2^n} - \frac{1}{2^n} + \frac{1}{2^n} = 2 - \frac{1}{2^n} \\
 \implies \sum_{i=1}^{n+1} \frac{1}{i!} &\leq 2 - \frac{1}{2^n} \implies P(n+1) : V
 \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $\forall n \in \mathbb{N}, P(n) : V$.

Auxiliar

$$\frac{1}{(n+1)!} \leq \frac{1}{2^n} \iff 2^n \leq (n+1)!$$

Probemos esto último usando inducción. Sea $Q(n) : 2^n \leq (n+1)!, n \in \mathbb{N}.$

1) Caso base, $n = 1$:

$$Q(1) : 2^1 \leq (1+1)!$$

$$Q(1) : 2 \leq 2 \implies Q(1) : V$$

2) Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

$$\text{HI. } Q(n) : V$$

$$\text{TI. } Q(n+1) : 2^{n+1} \leq (n+2)!$$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad:

$$\begin{aligned} 2^{n+1} &= 2 \cdot 2^n \stackrel{\text{HI}}{\leq} 2(n+1)! \stackrel{(2 \leq n+2)}{\leq} (n+2)(n+1)! = (n+2)! \\ \implies 2^{n+1} &\leq (n+2)! \implies Q(n+1) : V \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $\forall n \in \mathbb{N}, Q(n) : V$.

vii) Quiero probar que la proposición:

$$p(n) : \prod_{i=1}^n \frac{4i-1}{n+i} \geq 1, \quad n \in \mathbb{N}$$

es verdadera.

Caso base:

La proposición para $n = 1$

$$p(1) : \prod_{i=1}^1 \frac{4i-1}{1+i} = \frac{3}{2} \geq 1$$

es trivialmente verdadera.

Paso inductivo:

Asumo que para algún $k \in \mathbb{N}$ la proposición:

$$p(k) : \underbrace{\prod_{i=1}^k \frac{4i-1}{k+i}}_{\text{hipótesis inductiva}} \geq 1$$

es verdadera, entonces quiero probar que la proposición

$$p(k+1) : \prod_{i=1}^{k+1} \frac{4i-1}{k+1+i} \geq 1$$

también lo sea.

Como tengo a la n dentro del factor principal de la productoria, la abro y ahí encuentro la **hipótesis inductiva**.

$$\begin{aligned} \prod_{i=1}^{k+1} \frac{4i-1}{k+1+i} &= \frac{3}{k+2} \cdot \frac{7}{k+3} \cdots \frac{4(k-1)-1}{2k} \cdot \frac{4k-1}{2k+1} \cdot \frac{4(k+1)-1}{2k+2} \\ &\stackrel{!!}{=} \frac{k+1}{k+1} \cdot \frac{3}{k+2} \cdot \frac{7}{k+3} \cdots \frac{4(k-1)-1}{2k} \cdot \frac{4k-1}{2k+1} \cdot \frac{4(k+1)-1}{2k+2} \\ &\stackrel{!!!}{=} (k+1) \cdot \frac{3}{k+1} \cdot \frac{7}{k+2} \cdot \frac{11}{k+3} \cdots \frac{4k-1}{2k} \cdot \frac{4(k+1)-1}{2k+1} \cdot \frac{1}{2k+2} \\ &\stackrel{\text{HI}}{\geq} (k+1) \cdot \frac{4(k+1)-1}{2k+1} \cdot \frac{1}{2k+2} \\ &\stackrel{!}{=} \frac{4k+3}{4k+2} \geq 1 \end{aligned}$$

Por lo tanto $p(k+1)$ también es verdadera.

Dado que $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas, por principio de inducción también lo es $p(n) \quad \forall n \in \mathbb{N}$

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

 Marcos Zea 

 Damián Rojas 

 naD GarRaz 

11.

- i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ una sucesión de números reales todos del mismo signo y tales que $a_n > -1$ para todo $n \in \mathbb{N}$. Probar que

$$\prod_{i=1}^n (1 + a_i) \geq 1 + \sum_{i=1}^n a_i$$

¿En qué paso de la demostración se usa que $a_n > -1$ para todo $n \in \mathbb{N}$? ¿Y que todos los términos de la sucesión $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ tienen el mismo signo?

- ii) Deducir que si $a \in \mathbb{R}$ tal que $a > -1$, entonces $(1 + a)^n \geq 1 + na$.

- i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ sucesión de números reales tales que

$$sg(a_n) = sg(a_1), \quad \forall n \in \mathbb{N} \quad (1)$$

$$a_n > -1, \quad \forall n \in \mathbb{N} \iff 1 + a_n > 0, \quad \forall n \in \mathbb{N} \quad (2)$$

donde $sg(x)$ es la función signo de x

$$sg(x) = \begin{cases} -1, & \text{si } x < 0 \\ 1, & \text{si } x > 0 \end{cases}$$

Definamos nuestra proposición $P(n)$

$$P(n) : \prod_{i=1}^n (1 + a_i) \geq 1 + \sum_{i=1}^n a_i, \quad n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$:

$$P(1) : \prod_{i=1}^1 (1 + a_i) \geq 1 + \sum_{i=1}^1 a_i$$

$$P(1) : 1 + a_1 \geq 1 + a_1 \implies P(1) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$

$$\text{TI. } P(n+1) : \prod_{i=1}^{n+1} (1 + a_i) \geq 1 + \sum_{i=1}^{n+1} a_i$$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad

$$\begin{aligned} \prod_{i=1}^{n+1} (1 + a_i) &= (1 + a_{n+1}) \prod_{i=1}^n (1 + a_i) \stackrel{\text{HI}}{\geq} (1 + a_{n+1}) \left(1 + \sum_{i=1}^n a_i \right) = 1 + \sum_{i=1}^n a_i + a_{n+1} + a_{n+1} \sum_{i=1}^n a_i \stackrel{*}{=} \\ &\stackrel{*}{=} 1 + \sum_{i=1}^{n+1} a_i + a_{n+1} \sum_{i=1}^n a_i \stackrel{\text{Aux}}{\geq} 1 + \sum_{i=1}^{n+1} a_i \implies P(n+1) : V \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo, entonces $P(n) : V, \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

Auxiliar Queremos ver que $a_{n+1} \sum_{i=1}^n a_i > 0$. La Ec.(1) nos dice que a_n nunca cambia de signo mientras que la Ec.(2) nos dice que a_n puede ser positiva o negativa. Entonces

$$sg(a_n) < 0 \vee sg(a_n) > 0$$

Caso $sg(a_n) < 0$

$$sg(a_n) < 0 \xrightarrow{(1)} sg(a_{n+1}) < 0 \quad (3)$$

$$sg(a_n) < 0 \xrightarrow{(1)} \sum_{i=1}^n a_i < 0 \quad (4)$$

Por la Ec.(3) y la Ec.(4), tenemos que

$$a_{n+1} \sum_{i=1}^n a_i > 0$$

Caso $sg(a_n) > 0$

$$sg(a_n) > 0 \xrightarrow{(1)} sg(a_{n+1}) > 0 \quad (5)$$

$$sg(a_n) > 0 \xrightarrow{(1)} \sum_{i=1}^n a_i > 0 \quad (6)$$

Por la Ec.(5) y la Ec.(6), tenemos que

$$a_{n+1} \sum_{i=1}^n a_i > 0$$

¿En qué paso de la demostración se usa que $a_n > -1$ para todo $n \in \mathbb{N}$? En la misma parte donde utilizamos la HI, pues la desigualdad de la HI sigue siendo valida solo si multiplicamos a ambos lados por un número positivo. Ese número positivo esta en la Ec.(2).

¿Y que todos los términos de la sucesión $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ tienen el mismo signo? En la parte donde utilizamos el calculo auxiliar.

- ii) Como $a > -1$ y $a \in \mathbb{R}$, cumple con las condiciones impuestas sobre $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ en el punto (i). Tomamos $a_n = a, \forall n \in \mathbb{N}$. Como $P(n)$ es verdadera

$$\begin{aligned} \prod_{i=1}^n (1+a) &\geq 1 + \sum_{i=1}^n a \\ (1+a)^n &\geq 1 + a \sum_{i=1}^n 1 \\ (1+a)^n &\geq 1 + na \end{aligned}$$

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

✂ Marcos Zea 🍷

12. Probar que

- i) $n! \geq 3^{n-1}, \forall n \geq 5$
- ii) $3^n - 2^n > n^3, \forall n \geq 4$
- iii) $\sum_{i=1}^n \frac{3^i}{i!} < 6n - 5, \forall n \geq 3$

i) $P(n) : n! \geq 3^{n-1}, \quad \forall n \geq 5$

Caso Base, $n = 5$:

$$P(5) : 5! \geq 3^{5-1}$$

$$P(5) : 120 \geq 81 \implies P(5) : V$$

Paso inductivo. Sean $n \geq 5$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : (n+1)! \geq 3^n$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad en la TI

$$(n+1)! = (n+1)n! \stackrel{\text{HI}}{\geq} (n+1)3^{n-1} \stackrel{\text{Aux}}{\geq} 3 \cdot 3^{n-1} = 3^n \implies P(n+1) : V$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Entonces $P(n) : V, \quad \forall n \geq 5$.

Auxiliar $n \geq 5 \implies n \geq 3 \implies (n+1) \geq 3$

ii) $P(n) : 3^n - 2^n > n^3, \quad \forall n \geq 4$

Caso Base, $n = 4$:

$$P(4) : 3^4 - 2^4 > 4^3$$

$$P(4) : 65 > 64 \implies P(5) : V$$

Paso inductivo. Sean $n \geq 4$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : 3^{n+1} - 2^{n+1} > (n+1)^3$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad en la TI

$$3^{n+1} - 2^{n+1} = 3 \cdot 3^n - 2 \cdot 2^n \geq 3 \cdot 3^n - 3 \cdot 2^n = 3(3^n - 2^n) \stackrel{\text{HI}}{>} 3n^3 \stackrel{\text{Aux}}{>} (n+1)^3 \implies P(n+1) : V$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Entonces $P(n) : V, \quad \forall n \geq 4$.

Auxiliar $3n^3 > (n+1)^3 \iff \sqrt[3]{3n^3} > \sqrt[3]{(n+1)^3} \stackrel{\text{Aux}}{\iff} \sqrt[3]{3}n > n+1 \stackrel{*}{\iff}$

$$\stackrel{*}{\iff} \sqrt[3]{3}n - n > 1 \iff n(\sqrt[3]{3} - 1) > 1 \iff n > \frac{1}{\sqrt[3]{3}-1} \simeq 2.3 \implies 3n^3 > (n+1)^3, \quad \forall n \geq 4$$

iii) Hay que probar la siguiente proposición:

$$p(n) : \sum_{i=1}^n \frac{3^i}{i!} < 6n - 5, \quad \forall n \geq 3$$

Caso Base:

$$p(3) : \sum_{i=1}^3 \frac{3^i}{i!} < 6 \cdot 3 - 5$$

Haciendo la cuenta de la sumatoria queda:

$$3 + \frac{9}{2} + \frac{27}{6} = 12 < 6 \cdot 3 - 5 \iff 12 < 13.$$

Es así que la proposición $p(1)$ resultó verdadera.

Paso inductivo:

Asumo que para algún $k \in \mathbb{N}$ la siguiente proposición:

$$p(k) : \underbrace{\sum_{i=1}^k \frac{3^i}{i!} < 6k - 5}_{\text{hipótesis inductiva}}, \quad \forall k \geq 3$$

es verdadera, entonces quiero probar que

$$p(k+1) : \sum_{i=1}^{k+1} \frac{3^i}{i!} < 6(k+1) - 5,$$

también lo sea.

Usamos el *truquito de la sumatoria* para que aparezca la **hipótesis inductiva**:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{k+1} \frac{3^i}{i!} &= \frac{3^{k+1}}{(k+1)!} + \sum_{i=1}^k \frac{3^i}{i!} \\ &\stackrel{\text{HI}}{<} \frac{3^{k+1}}{(k+1)!} + 6k - 5 \star^1 \end{aligned}$$


En la última expresión queda algo que quizás te moleste. Tenés que acotar. Es decir *asegurar* que esa expresión va a ser menor a $6(k+1) - 5 \quad \forall k > 3$. Si mirás fuerte al primer término y pensás en lo rápido que crece el factorial: ¿Qué tan grande puede ser? \star^1 :

$$\frac{3^{k+1}}{(k+1)!} + 6k - 5 < \frac{3^{k+1}}{(k+1)!} + 6k - 5 \stackrel{!!}{<} 6 + 6k - 5 = 6(k+1) - 5$$

Por lo tanto $p(k+1)$ es verdadera también.

En el **!!** podría haber puesto un 3 o 4 también (¿Por qué?), pero elegí el **6** para que me quede ya la expresión final que buscaba al sacar el último factor común.

Dado que $p(3), p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas, por principio de inducción también lo es $p(n) \quad \forall n \in \mathbb{N}_{\geq 3}$

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

 Marcos Zea 

 naD GarRaz 

13. Hallar todos los valores de $n \in \mathbb{N}$ tales que $n^2 + 1 < 2^n$.

Pruebo algunos valores de n :

- $n = 1 \rightarrow 1^2 + 1 = 2 \not< 2$
- $n = 2 \rightarrow 2^2 + 1 = 5 \not< 4$
- $n = 3 \rightarrow 3^2 + 1 = 10 \not< 8$
- $n = 4 \rightarrow 4^2 + 1 = 17 \not< 16$
- $n = 5 \rightarrow 5^2 + 1 = 26 < 32 \quad \checkmark$

Parece ser que se cumple para los $n \geq 5$. Lo pruebo por inducción. Quiero probar que la siguiente proposición es verdadera:

$$p(n) : n^2 + 1 < 2^n \quad \forall n \in \mathbb{N}_{\geq 5}$$

Caso Base:

$$p(5) \text{ Verdadero} \iff 5^2 + 1 < 2^5 \iff 26 < 32 \quad \checkmark$$

Paso Inductivo:

Asumo que para algún valor $k \in \mathbb{N}_{\geq 5}$

$$p(k) : \underbrace{k^2 + 1 < 2^k}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera, entonces quiero ver que:

$$p(k+1) : (k+1)^2 + 1 < 2^{k+1}$$

también lo sea.

Masajeo $p(k+1)$ para usar la **hipótesis inductiva**:

$$\begin{aligned} (k+1)^2 + 1 &= k^2 + 1 + 2k + 1 \stackrel{\text{HI}}{<} 2^k + 2k + 1 \\ \Leftrightarrow k^2 + 1 &< 2^k \\ \Leftrightarrow k^2 + 1 &\stackrel{!}{\leq} 2^{k+1} \\ \Leftrightarrow (k+1)^2 + 1 &< 2^{k+1} \end{aligned}$$

Se cumple el caso base y el paso inductivo, por el principio de inducción $p(n)$ es verdadero $\forall n \in \mathbb{N}_{\geq 5}$.

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

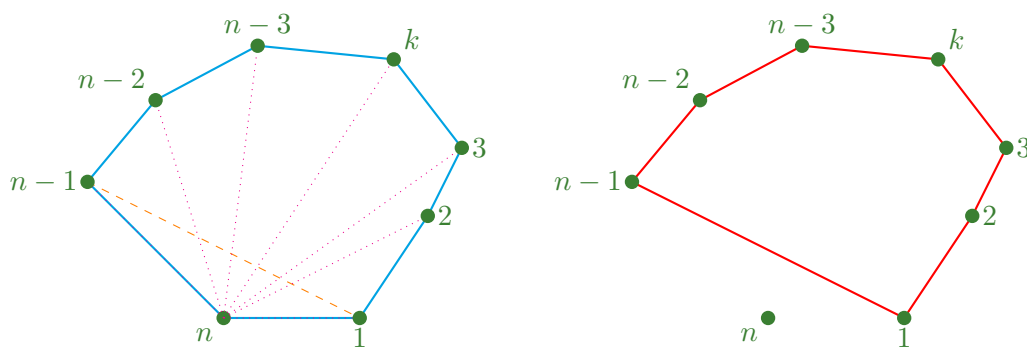
👉 naD GarRaz 🐼

14. Probar que para todo $n \geq 3$ vale que

- i) la cantidad de diagonales de un polígono de n lados es $\frac{n(n-3)}{2}$.
- ii) la suma de los ángulos interiores de un polígono de n lados es $\pi(n-2)$.

- i) La cantidad de diagonales de un polígono de n lados es $\frac{n(n-3)}{2}$.

Ejercicio donde hay que encontrar una fórmula a partir de algún método *creativo* para luego probar por inducción.



Se desprende del gráfico el siguiente razonamiento:

En el polígono azul de n lados voy a tener una *cantidad de diagonales* dada por la sucesión d_n . El polígono rojo, tiene un lado menos, por lo tanto la sucesión que describe su *cantidad de diagonales* es d_{n-1} .

Las líneas **punteadas** son las diagonales de d_n que no estarán en d_{n-1} .

La idea es encontrar una relación entre ambas sucesiones. Al modificar el polígono sacando el vértice n pierdo las **diagonales punteadas** desde el nodo 2 hasta $n-2$ que serían $n-3$ en total y no hay que olvidarse también que pierdo la **diagonal naranja** que conectan el vértice 1 con el $n-1$:

$$d_n = d_{n-1} + 1 + n - 3 = d_{n-1} + n - 2 \Leftrightarrow d_n = d_{n-1} + n - 2$$

Ahora inducción:

Quiero probar la siguiente proposición:

$$p(n) : d_n = \frac{n(n-3)}{2} \quad \forall n \geq 3$$

Caso Base:

$$p(3) : \frac{3(3-3)}{2} = 0,$$

lo cual es verdad para el triángulo.

Paso inductivo: Asumo que

$$p(k) : d_k = \underbrace{\frac{k(k-3)}{2}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera para algún $k \in \mathbb{N}_{\geq 3}$.

Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : d_{k+1} = \frac{(k+1)(k+1-3)}{2} = \frac{(k+1)(k-2)}{2}$$

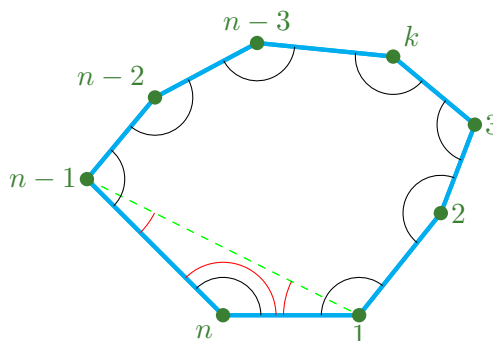
también sea verdadera.

Arranco por la proposición $p(k+1)$ y uso la **hipótesis inductiva**:

$$d_{k+1} \stackrel{\text{def}}{=} d_k + k - 1 \stackrel{\text{HI}}{=} \frac{k(k-3)}{2} + k - 1 = \frac{k^2 - k - 2}{2} \stackrel{!}{=} \frac{(k+1)(k-2)}{2}$$

Como $p(3)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas, por el principio de inducción $p(n)$ es verdadera $\forall n \in \mathbb{N}_{\geq 3}$

ii) la suma de los ángulos interiores de un polígono de n lados es $\pi(n-2)$.



En este caso estoy generando la suma de los ángulos internos de 2 polígonos, uno con α_n de n lados y otro con $n-1$, α_{n-1} .

Es más claro en este caso que al sacarle un lado, estoy formando un triángulo (en el gráfico con vértices n , $n-1$, 1) que tiene como suma de sus ángulos internos π , entonces afirmo $\alpha_{n+1} \stackrel{\star 1}{=} \alpha_n + \pi$.

Ahora pruebo por inducción lo pedido:

$$p(n) : \alpha_n = \pi(n-2) \quad \forall n \geq 3$$

Arrancamos inducción:

Caso Base:

$$p(3) : \pi(3-2) = \pi,$$

lo cual es verdad para el triángulo, como aprendiste en el secundario.

Paso inductivo, asumo que:

$$p(k) : \underbrace{\alpha_k = \pi(k-2)}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadero para algún $k \in \mathbb{N}_{\geq 3}$, entonces también quiero que:

$$p(k+1) : \alpha_{k+1} = \pi(k-1)$$

también sea verdadero.


Arranco con la definición y uso la hipótesis inductiva:

$$\alpha_k \stackrel{\star^1}{=} \alpha_{k+1} - \pi \quad \text{y} \quad \alpha_k \stackrel{\text{HI}}{=} \pi(k-2)$$

Metés por acá sacás por allá:

$$\alpha_{k+1} \stackrel{!}{=} \pi(k-2) + \pi = \pi(k-1)$$

Como $p(3)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas, por el principio de inducción $p(n)$ es verdadera $\forall n \in \mathbb{N}_{\geq 3}$

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

 naD  GarRaz

 Damián Rojas 

Recurrencia

15.

i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ la sucesión de números reales definida recursivamente por

$$a_1 = 2 \quad \text{y} \quad a_{n+1} = 2na_n + 2^{n+1}n!, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Probar que $a_n = 2^n n!$.

ii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ la sucesión de números reales definida recursivamente por

$$a_1 = 0 \quad \text{y} \quad a_{n+1} = a_n + n(3n+1), \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Probar que $a_n = n^2(n-1)$.

i) Inducción. *Proposición:*

$$p(n) : a_n = 2^n n! \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : \begin{cases} a_1 \stackrel{\text{def}}{=} 2 = 2^1 \cdot 1! \quad \checkmark \\ a_{1+1} = a_2 \stackrel{\text{def}}{=} 2 \cdot 1 \cdot a_1 + 2^{1+1}1! = 8 \stackrel{!}{=} 2^2 \cdot 2 \quad \checkmark. \end{cases}$$

Resulta que $p(1)$ es verdadera.

Paso inductivo:

$$p(k) : \underbrace{a_k = 2^k k!}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

asumo verdadera para algún $k \in \mathbb{Z}$ entonces quiero que

$$p(k+1) : a_{k+1} = 2^{k+1}(k+1)!$$

también lo sea.

$$a_{k+1} \stackrel{\text{def}}{=} 2k \cdot a_k + 2^{k+1}k! \stackrel{\text{HI}}{=} 2k \cdot 2^k k! + 2^{k+1}k! = 2^{k+1}k!(k+1) \stackrel{!}{=} 2^{k+1}(k+1)! \quad \checkmark$$

Resulta que $p(k+1)$ también es verdadera.

Como $p(1)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas, por el principio de inducción también lo es $p(n)$ $\forall n \in \mathbb{N}$

ii) Inducción. *Proposición:*

$$p(n) : a_n = n^2(n-1) \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : \begin{cases} a_1 \stackrel{\text{def}}{=} 0 = 1^2 \cdot (1-1) & \checkmark \\ a_{1+1} = a_2 \stackrel{\text{def}}{=} a_1 + 1(3 \cdot 1 + 1) = 4 = 2^2 \cdot (2-1) & \checkmark. \end{cases}$$

Resulta que $p(1)$ es verdadera.

Paso inductivo:

$$p(k) : \underbrace{a_k = k^2(k-1)}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

asumo verdadera para algún $k \in \mathbb{Z} \implies$, entonces quiero ver que

$$p(k+1) : a_{k+1} = (k+1)^2(k+1-1) = k(k+1)^2$$

también lo sea.

$$a_{k+1} \stackrel{\text{def}}{=} a_k + k(3k+1) \stackrel{\text{HI}}{=} k^2(k-1) + 3k^2 + k = k^3 + 2k^2 + k \stackrel{!}{=} k(k+1)^2 \quad \checkmark$$

Resulta que $p(k+1)$ también es verdadera.

Como $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas, por el principio de inducción también lo es $p(n) \quad \forall n \in \mathbb{N}$

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

 Nad Garraz 

16. Hallar una fórmula para el término general de las sucesiones $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definidas recursivamente a continuación y probar su validez.

i) $a_1 = 1$ y $a_{n+1} = (1 + \sqrt{a_n})^2, \quad \forall n \in \mathbb{N}$

iii) $a_1 = 1$ y $a_{n+1} = na_n, \quad \forall n \in \mathbb{N}$

ii) $a_1 = 3$ y $a_{n+1} = 2a_n + 3^n, \quad \forall n \in \mathbb{N}$

iv) $a_1 = 2$ y $a_{n+1} = 2 - \frac{1}{a_n}, \quad \forall n \in \mathbb{N}$

i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 1 \tag{1}$$

$$a_{n+1} = (1 + \sqrt{a_n})^2, \quad \forall n \in \mathbb{N} \tag{2}$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una fórmula para su término n-ésimo

$$a_2 = (1 + \sqrt{a_1})^2 = (1 + \sqrt{1})^2 = 4 = 2^2$$

$$a_3 = (1 + \sqrt{a_2})^2 = (1 + \sqrt{4})^2 = 9 = 3^2$$

$$a_4 = (1 + \sqrt{a_3})^2 = (1 + \sqrt{9})^2 = 16 = 4^2$$

$$\vdots$$

$$a_n = n^2 \tag{3}$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(3). Hagámoslo por inducción

$$P(n) : a_n = n^2, n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$:

$$P(1) : a_1 = 1^2 = 1 \stackrel{1}{=} 1 \implies P(1) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \geq 1$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : a_{n+1} = (n+1)^2$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$a_{n+1} \stackrel{(2)}{=} (1 + \sqrt{a_n})^2 \stackrel{\text{HI}}{=} (1 + \sqrt{n^2})^2 = (1+n)^2 \implies P(n+1) : V$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \forall n \in \mathbb{N}$.

ii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 3 \tag{1}$$

$$a_{n+1} = 2a_n + 3^n, \forall n \in \mathbb{N} \tag{2}$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una formula para su termino n-ésimo

$$a_2 = 2a_1 + 3^1 = 2 \cdot 3 + 3 = 9 = 3^2$$

$$a_3 = 2a_2 + 3^2 = 2 \cdot 9 + 3^2 = 9 + 9 = 18 = 3^3$$

$$a_4 = 2a_3 + 3^3 = 2 \cdot 18 + 3^3 = 36 + 27 = 63 = 3^4$$

\vdots

$$a_n = 3^n$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(3). Hagámoslo por inducción

$$P(n) : a_n = 3^n, n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$:

$$P(1) : a_1 = 3^1 = 3 \stackrel{(1)}{=} 3 \implies P(1) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \geq 1$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : a_{n+1} = 3^{n+1}$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$a_{n+1} \stackrel{(2)}{=} 2a_n + 3^n \stackrel{\text{HI}}{=} 2 \cdot 3^n + 3^n = 3 \cdot 3^n = 3^{n+1} \implies P(n+1) : V$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \forall n \in \mathbb{N}$.

iii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$\begin{aligned} a_1 &\stackrel{\star^1}{=} 1 \\ a_{n+1} &\stackrel{\star^2}{=} na_n, \forall n \in \mathbb{N} \end{aligned}$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una formula de su termino n-ésimo

$$\begin{aligned}
 a_2 &= 1 \cdot a_1 = 1 \cdot 1 \\
 a_3 &= 2 \cdot a_2 = 2 \cdot 1 \\
 a_4 &= 3 \cdot a_3 = 3 \cdot 2 = 3 \cdot 2 \cdot 1 \\
 a_5 &= 4 \cdot a_4 = 4 \cdot 6 = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \\
 &\vdots \\
 a_n &\stackrel{\star^3}{=} (n-1)!
 \end{aligned}$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en \star^3 .

$$p(n) : a_n = (n-1)! \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso Base:

$$p(1) : a_1 = (1-1)! = 0! = 1 \stackrel{\star^1}{=} 1$$

por lo que $p(1)$ es verdadera.

Paso inductivo:

Asumo que para algún $k \in \mathbb{N}$

$$p(k) : \underbrace{a_k = (k-1)!}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Por lo tanto quiero probar que:

$$p(k+1) : a_{k+1} = (k+1-1)!$$

también lo es.

Está regalada: ¡Como tu hermana!

$$a_{k+1} = (k+1-1)! = k! \stackrel{!}{=} k \cdot (k-1)! \stackrel{\text{HI}}{\stackrel{\star^2}{=}} k \cdot a_k \implies a_{k+1} = k \cdot a_k$$

Ese último paso es la definición de la sucesión, así que dicho formal y matemáticamente es más verdadero que *que el agua moja*.

Como $p(1)$, $p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas, por el principio de inducción $p(n)$ también lo es $\forall n \in \mathbb{N}$

iv) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 2 \tag{1}$$

$$a_{n+1} = 2 - \frac{1}{a_n}, \quad \forall n \in \mathbb{N} \tag{2}$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una formula de su termino n-ésimo

$$\begin{aligned}
 a_2 &= 2 - \frac{1}{a_1} = 2 - \frac{1}{2} = \frac{3}{2} \\
 a_3 &= 2 - \frac{1}{a_2} = 2 - \frac{1}{3/2} = \frac{4}{3} \\
 a_4 &= 2 - \frac{1}{a_3} = 2 - \frac{1}{4/3} = \frac{5}{4} \\
 a_5 &= 2 - \frac{1}{a_4} = 2 - \frac{1}{5/4} = \frac{6}{5} \\
 &\vdots \\
 a_n &= \frac{n+1}{n}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(3). Hagamoslo por inducción

$$P(n) : a_n = \frac{n+1}{n}, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$:

$$P(1) : a_1 = \frac{1+1}{1} = 2 \stackrel{(1)}{=} 2 \implies P(1) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \geq 1$:


HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : a_{n+1} = \frac{n+2}{n+1}$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$a_{n+1} \stackrel{(2)}{=} 2 - \frac{1}{a_n} \stackrel{\text{HI}}{=} 2 - \frac{1}{(n+1)/n} = 2 - \frac{n}{n+1} = \frac{2(n+1) - n}{n+1} = \frac{n+2}{n+1} \implies P(n+1) : V$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

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

 Marcos Zea 

 nad GarRaz 

 Francisco Sureda 

17.

i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ la sucesión definida por

$$a = 1 \quad \text{y} \quad a_{n+1} = a_n + n \cdot n!, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Probar que $a_n = n!$, y, aplicando el Ej.9i), calcular $\sum_{i=1}^n i \cdot i!$.

ii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ la sucesión definida por

$$a = 1 \quad \text{y} \quad a_{n+1} = a_n + 3n^2 + 3n + 1, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Probar que $a_n = n^3$, y, aplicando el Ej.9i), calcular de otra forma $\sum_{i=1}^n i^2$ (comparar con Ej.6).

i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 1 \tag{1}$$

$$a_{n+1} = a_n + n \cdot n!, \quad \forall n \in \mathbb{N} \tag{2}$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión $a_n = n!$ para todo $n \in \mathbb{N}$. Hagamoslo por inducción

$$P(n) : a_n = n!, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$:

$$P(1) : a_1 = 1! = 1 \stackrel{(1)}{=} 1 \implies P(1) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \geq 1$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : a_{n+1} = (n+1)!$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$a_{n+1} \stackrel{(2)}{=} a_n + n \cdot n! \stackrel{\text{HI}}{=} n! + n \cdot n! = n!(n+1) = (n+1)! \implies P(n+1) : V$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \forall n \in \mathbb{N}$.

Calculemos $\sum_{i=1}^n i \cdot i!$:

$$\sum_{i=1}^n i \cdot i! \stackrel{\text{Aux}}{=} \sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i) \stackrel{\text{Aux}}{=} a_{n+1} - a_1 = (n+1)! - 1$$

Auxiliar 1 Usemos la Ec.(2)

$$a_{n+1} = a_n + n \cdot n! \implies n \cdot n! = a_{n+1} - a_n$$

Auxiliar 2 Ecuación dada por el ejercicio 19.i)

$$\sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i) = a_{n+1} - a_1$$

ii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 1 \tag{1}$$

$$a_{n+1} = a_n + 3n^2 + 3n + 1, \quad \forall n \in \mathbb{N} \tag{2}$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión $a_n = n^3$ para todo $n \in \mathbb{N}$. Hagamoslo por inducción

$$P(n) : a_n = n^3, \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$:

$$P(1) : a_1 = 1! = 1 \stackrel{(1)}{=} 1 \implies P(1) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \geq 1$:

HI. $P(n) : V$

TI. $P(n+1) : a_{n+1} = (n+1)^3$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$a_{n+1} \stackrel{(2)}{=} a_n + 3n^2 + 3n + 1 \stackrel{\text{HI}}{=} n^3 + 3n^2 + 3n + 1 = (n+1)^3 \implies P(n+1) : V$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \forall n \in \mathbb{N}$.

Calculemos $\sum_{i=1}^n i^2$:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n i^2 &\stackrel{(\text{Aux.1})}{=} \sum_{i=1}^n \frac{a_{i+1} - a_i - 3i - 1}{3} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i - 3i - 1) \\
&= \frac{1}{3} \left(\sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i) - \sum_{i=1}^n 3i - \sum_{i=1}^n 1 \right) = \frac{1}{3} \left(\sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i) - 3 \sum_{i=1}^n i - \sum_{i=1}^n 1 \right) \\
&= \frac{1}{3} \left(\sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i) - 3 \frac{n(n+1)}{2} - n \right) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i) + \frac{1}{3} \left(-3 \frac{n(n+1)}{2} - n \right) \\
&\stackrel{(\text{Aux.2})}{=} \frac{1}{3} (a_{n+1} - a_1) + \left(-\frac{n(n+1)}{2} - \frac{n}{3} \right) = \frac{1}{3} ((n+1)^3 - 1) + \left(-\frac{n(n+1)}{2} - \frac{n}{3} \right) \\
&= \frac{(n+1)^3}{3} - \frac{1}{3} - \frac{n(n+1)}{2} - \frac{n}{3} = \frac{(n+1)^3}{3} - \frac{n(n+1)}{2} - \frac{n+1}{3} \\
&= (n+1) \left(\frac{(n+1)^2}{3} - \frac{n}{2} - \frac{1}{3} \right) = (n+1) \left(\frac{n^2 + 2n + 1}{3} - \frac{n}{2} - \frac{1}{3} \right) \\
&= (n+1) \left(\frac{2n^2 + 4n + 2 - 3n - 2}{6} \right) = (n+1) \left(\frac{2n^2 + n}{6} \right) = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \\
\sum_{i=1}^n i^2 &= \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}
\end{aligned}$$

Auxiliar 1 Usemos la Ec.(2)

$$\begin{aligned}
a_{n+1} &= a_n + 3n^2 + 3n + 1 \\
, 3n^2 &= a_{n+1} - a_n - 3n - 1 \\
n^2 &= \frac{a_{n+1} - a_n - 3n - 1}{3}
\end{aligned}$$

Auxiliar 2 Ecuación dada por el ejercicio 19.i)

$$\sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_1) = a_{n+1} - a_1$$

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

👋 Marcos Zea 🐼

18. Hallar una fórmula para el término general de las sucesiones definidas recursivamente a continuación y probar su validez.

- i) $a_1 = 1, a_2 = 2$ y $a_{n+2} = na_{n+1} + 2(n+1)a_n, \forall n \in \mathbb{N}$
- ii) $a_1 = 1, a_2 = 4$ y $a_{n+2} = 4\sqrt{a_{n+1}} + a_n, \forall n \in \mathbb{N}$
- iii) $a_1 = 1, a_2 = 3$ y $2a_{n+2} = a_{n+1} + a_n + 3n + 5, \forall n \in \mathbb{N}$
- iv) $a_1 = -3, a_2 = 6$ y $a_{n+2} = \begin{cases} -a_{n+1} - 3, & \text{si } n \text{ es impar} \\ a_{n+1} + 2a_n + 9, & \text{si } n \text{ es par} \end{cases} (n \in \mathbb{N})$

i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 1 \quad (1)$$

$$a_2 = 2 \quad (2)$$

$$a_{n+2} = na_{n+1} + 2(n+1)a_n, \quad \forall n \in \mathbb{N} \quad (3)$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una fórmula para su término n -ésimo

$$a_3 = 1 \cdot a_2 + 2(1+1)a_1 = 1 \cdot 2 + 2(1+1)1 = 6 = 3!$$

$$a_4 = 2a_3 + 2(2+1)a_2 = 2 \cdot 6 + 2(2+1)2 = 24 = 4!$$

$$a_5 = 3a_4 + 2(3+1)a_3 = 3 \cdot 24 + 2(3+1)6 = 120 = 5!$$

$$\vdots$$

$$a_n = n! \quad (4)$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(4). Hagámoslo por inducción

$$P(n) : a_n = n!, \quad n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$ y $n = 2$:

$$P(1) : a_1 = 1! = 1 \stackrel{(1)}{=} 1 \implies P(1) : V$$

$$P(2) : a_2 = 2! = 2 \stackrel{(2)}{=} 2 \implies P(2) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$ y $P(n+1) : V$, donde $P(n+1) : a_{n+1} = (n+1)!$

TI. $P(n+2) : a_{n+2} = (n+2)!$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$\begin{aligned} a_{n+2} &\stackrel{(3)}{=} na_{n+1} + 2(n+1)a_n \stackrel{\text{HI}}{=} n(n+1)! + 2(n+1)n! = n(n+1)! + 2(n+1)! \\ a_{n+2} &= (n+1)!(n+2) = (n+2)! \implies P(n+2) : V \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

ii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 1 \quad (1)$$

$$a_2 = 4 \quad (2)$$

$$a_{n+2} = 4\sqrt{a_{n+1}} + a_n, \quad \forall n \in \mathbb{N} \quad (3)$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una fórmula para su término n -ésimo

$$a_3 = 4\sqrt{a_2} + a_1 = 4\sqrt{4} + 1 = 9 = 3^2$$

$$a_4 = 4\sqrt{a_3} + a_2 = 4\sqrt{9} + 4 = 16 = 4^2$$

$$a_5 = 4\sqrt{a_4} + a_3 = 4\sqrt{16} + 9 = 25 = 5^2$$

$$\vdots$$

$$a_n = n^2 \quad (4)$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(4). Hagámoslo por inducción

$$P(n) : a_n = n^2, n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$ y $n = 2$:

$$P(1) : a_1 = 1^2 = 1 \stackrel{(1)}{=} 1 \implies P(1) : V$$

$$P(2) : a_2 = 2^2 = 4 \stackrel{(2)}{=} 4 \implies P(2) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$ y $P(n+1) : V$, donde $P(n+1) : a_{n+1} = (n+1)^2$

TI. $P(n+2) : a_{n+2} = (n+2)^2$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$\begin{aligned} a_{n+2} &\stackrel{(3)}{=} 4\sqrt{a_{n+1}} + a_n \stackrel{\text{HI}}{=} 4\sqrt{(n+1)^2} + n^2 = 4(n+1) + n^2 = n^2 + 4n + 4 = (n+2)^2 \\ a_{n+2} &= (n+2)^2 \implies P(n+2) : V \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \forall n \in \mathbb{N}$.

iii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 1 \tag{1}$$

$$a_2 = 3 \tag{2}$$

$$2a_{n+2} = a_{n+1} + a_n + 3n + 5, \forall n \in \mathbb{N} \implies a_{n+2} = \frac{a_{n+1} + a_n + 3n + 5}{2}, \forall n \in \mathbb{N} \tag{3}$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una fórmula para su término n -ésimo

$$\begin{aligned} a_3 &= \frac{a_2 + a_1 + 3 \cdot 1 + 5}{2} = \frac{3 + 1 + 3 + 5}{2} = 6 = 3 + 2 + 1 \\ a_4 &= \frac{a_3 + a_2 + 3 \cdot 2 + 5}{2} = \frac{6 + 3 + 6 + 5}{2} = 10 = 4 + 3 + 2 + 1 \\ a_5 &= \frac{a_4 + a_3 + 3 \cdot 3 + 5}{2} = \frac{10 + 6 + 9 + 5}{2} = 15 = 5 + 4 + 3 + 2 + 1 \\ &\vdots \\ a_n &= \sum_{i=1}^n i \implies a_n = \frac{n(n+1)}{2} \end{aligned} \tag{4}$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(4). Hagámoslo por inducción:

$$P(n) : a_n = \frac{n(n+1)}{2}, n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$ y $n = 2$:

$$P(1) : a_1 = \frac{1(1+1)}{2} = 1 \stackrel{(1)}{=} 1 \implies P(1) : V$$

$$P(2) : a_2 = \frac{2(2+1)}{2} = 3 \stackrel{(2)}{=} 3 \implies P(2) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

$$\text{HI. } P(n) : V \quad \text{y} \quad P(n+1) : V, \text{ donde } P(n+1) : a_{n+1} = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$$

$$\text{TI. } P(n+2) : a_{n+2} = \frac{(n+2)(n+3)}{2}$$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$\begin{aligned} a_{n+2} &\stackrel{(3)}{=} \frac{a_{n+1} + a_n + 3n + 5}{2} = \frac{1}{2}(a_{n+1} + a_n + 3n + 5) \stackrel{\text{HI}}{=} \frac{1}{2} \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} + \frac{n(n+1)}{2} + 3n + 5 \right) \\ a_{n+2} &= \frac{1}{2} \left(\frac{(n+1)(n+2) + n(n+1) + 6n + 10}{2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{n^2 + 3n + 2 + n^2 + n + 6n + 10}{2} \right) \\ a_{n+2} &= \frac{1}{2} \left(\frac{2n^2 + 10n + 12}{2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{2(n+2)(n+3)}{2} \right) = \frac{(n+2)(n+3)}{2} \\ a_{n+2} &= \frac{(n+2)(n+3)}{2} \implies P(n+2) : V \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \forall n \in \mathbb{N}$.

iv) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = -3 \tag{1}$$

$$a_2 = 6 \tag{2}$$

Y como a_{n+2} está partida:

$$a_{n+2} = -a_{n+1} - 3, \quad \text{si } n \text{ es impar} \tag{3}$$

$$a_{n+2} = a_{n+1} + 2a_n + 9, \quad \text{si } n \text{ es par} \tag{4}$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una fórmula para su término n -ésimo

$$\begin{aligned} a_3 &= -a_2 - 3 = -6 - 3 = -9 = (-1) \cdot 3 \cdot 3 \\ a_4 &= a_3 + 2a_2 + 9 = -9 + 2 \cdot 6 + 9 = 12 = (-1)^2 \cdot 3 \cdot 4 \\ a_5 &= -a_4 - 3 = -12 - 3 = -15 = (-1) \cdot 3 \cdot 5 \\ a_6 &= a_5 + 2a_4 + 9 = -15 + 2 \cdot 12 + 9 = 18 = (-1)^2 \cdot 3 \cdot 6 \\ &\vdots \\ a_n &= (-1)^n 3n \end{aligned} \tag{5}$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(5). Hagámoslo por inducción

$$P(n) : a_n = (-1)^n 3n, n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$ y $n = 2$:

$$P(1) : a_1 = (-1)^1 \cdot 3 \cdot 1 = -3 \stackrel{(1)}{=} 1 \implies P(1) : V$$

$$P(2) : a_2 = (-1)^2 \cdot 3 \cdot 2 = 6 \stackrel{(2)}{=} 6 \implies P(2) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$ y $P(n+1) : V$, donde $P(n+1) : a_{n+1} = (-1)^{n+1}3(n+1)$

TI. $P(n+2) : a_{n+2} = (-1)^{n+2}3(n+2)$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI. Como este depende de la paridad de n tendremos que analizar dos casos, uno con n impar y otro con n par.

Caso n impar:

$$a_{n+2} \stackrel{(3)}{=} -a_{n+1} - 3 \stackrel{\text{HI}}{=} -(-1)^{n+1}3(n+1) - 3 \stackrel{\text{Aux.1}}{=} (-1)^{n+2}3(n+1) - 3 \stackrel{\text{Aux.2}}{=} (-1)^{n+2}3(n+1) - 3$$

$$a_{n+2} = -3n - 3 - 3 = -3n - 6 = -3(n+2) = (-1)^{n+2}3(n+2)$$

$$a_{n+2} = (-1)^{n+2}3(n+2) \implies P(n+2) : V, n \text{ impar}$$

Caso n par:

$$a_{n+2} \stackrel{(4)}{=} a_{n+1} + 2a_n + 9 \stackrel{\text{HI}}{=} (-1)^{n+1}3(n+1) + 2(-1)^n3n + 9 \stackrel{\text{Aux.3}}{=} (-1)^{n+1}3(n+1) + 2 \cdot 3n + 9$$

$$a_{n+2} = -3n - 3 + 6n + 9 = 3n + 6 = 3(n+2) = 1 \cdot 3(n+2) \stackrel{\text{Aux.5}}{=} (-1)^{n+2}3(n+2)$$

$$a_{n+2} = (-1)^{n+2}3(n+2) \implies P(n+2) : V, n \text{ par}$$

Por lo tanto, $P(n+2) : V$ para cualquier n natural. Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \forall n \in \mathbb{N}$.

Auxiliar Sabemos que

$$(-1)^n = \begin{cases} 1, & \text{si } n \text{ es par} \\ -1, & \text{si } n \text{ es impar} \end{cases}$$

Auxiliar 2 Tenemos n impar

$$-(-1)^{n+1} = (-1)^1 \cdot (-1)^{n+1} = (-1)^{n+2}$$

Auxiliar 2 Tenemos n impar

$$(-1)^{n+2} = (-1)^n \cdot (-1)^2 = (-1)^n \cdot 1 \stackrel{\text{Aux.1}}{=} 1$$

Auxiliar 3 Tenemos n impar

$$-1 = (-1) \cdot (-1)^{2 \text{Aux}} = (-1)^n \cdot (-1)^2 = (-1)^{n+2}$$

Auxiliar 4 Tenemos n par

- $(-1)^{n+1} = (-1)^n \cdot (-1)^1 \stackrel{\text{Aux.1}}{=} 1 \cdot (-1) = -1$
- $(-1)^{n \text{Aux}} 1$

Auxiliar 3 Tenemos n par

$$1 = 1 \cdot (-1)^{2^{\text{Aux}}} (-1)^n \cdot (-1)^2 = (-1)^{n+2}$$

v) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}_0}$ definida por

$$a_0 = 1 \quad (1)$$

$$a_1 = 4 \quad (2)$$

$$a_{n+2} = 4a_{n+1} - 4a_n, \quad \forall n \in \mathbb{N}_0 \quad (3)$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para poder conjeturar una fórmula para su término n -ésimo

$$\begin{aligned} a_2 &= 4a_1 - 4a_0 = 4 \cdot 4 - 4 \cdot 1 = 2^2 \cdot 2^2 - 2^2 = 2^2(2^2 - 1) = 2^2 \cdot 3 \\ a_3 &= 4a_2 - 4a_1 \stackrel{\text{Aux}}{=} 4 \cdot 2^2 \cdot 3 - 4 \cdot 2 \cdot 2 = 2^2 \cdot 2^2 \cdot 3 - 2^2 \cdot 2 \cdot 2 = 2^3(2 \cdot 3 - 2) = 2^3 \cdot 4 \\ a_4 &= 4a_3 - 4a_2 = 4 \cdot 2^3 \cdot 4 - 4 \cdot 2^2 \cdot 3 = 2^2 \cdot 2^3 \cdot 4 - 2^2 \cdot 2^2 \cdot 3 = 2^4(2 \cdot 4 - 3) = 2^4 \cdot 5 \\ a_5 &= 4a_4 - 4a_3 = 4 \cdot 2^4 \cdot 5 - 4 \cdot 2^3 \cdot 4 = 2^2 \cdot 2^4 \cdot 5 - 2^2 \cdot 2^3 \cdot 4 = 2^5(2 \cdot 5 - 4) = 2^5 \cdot 6 \\ &\vdots \\ a_n &= 2^n(n+1) \end{aligned} \quad (4)$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(4). Hagámoslo por inducción

$$P(n) : a_n = 2^n(n+1), \quad n \in \mathbb{N}_0$$

Caso Base, $n = 0$ y $n = 1$:

$$P(0) : a_0 = 2^0(0+1) = 1 \stackrel{(1)}{=} 1 \implies P(0) : V$$

$$P(1) : a_1 = 2^1(1+1) = 4 \stackrel{(2)}{=} 4 \implies P(1) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$ y $P(n+1) : V$, donde $P(n+1) : a_{n+1} = 2^{n+1}(n+2)$

TI. $P(n+2) : a_{n+2} = 2^{n+2}(n+3)$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$\begin{aligned} a_{n+2} &\stackrel{(3)}{=} 4a_{n+1} - 4a_n \stackrel{\text{HI}}{=} 4 \cdot 2^{n+1}(n+2) - 4 \cdot 2^n(n+1) = 2^2 \cdot 2^{n+1}(n+2) - 2^2 \cdot 2^n(n+1) \\ a_{n+2} &= 2^{n+2}(2(n+2) - (n+1)) = 2^{n+2}(2n+4-n-1) = 2^{n+2}(n+3) \\ a_{n+2} &= 2^{n+2}(n+3) \implies P(n+2) : V \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

Auxiliar Escribimos a $a_1 = 4$ como $a_1 = 2 \cdot 2$ para simplificar pasos en la obtención del termino general de a_n . Si utilizamos $a_1 = 4$, llegamos a que $a_3 = 2^5$, despues a que $a_5 = 2^6 \cdot 3$ y no es tan fácil ver el patrón de nuestro termino generale.

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

👤 Marcos Zea 📧

19.

i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ la sucesión definida por

$$a_1 = 1, a_2 = 3 \quad \text{y} \quad a_{n+2} = a_{n+1} + 5a_n \quad (n \in \mathbb{N})$$

Probar que $a_n < 1 + 3^{n-1}$ para todo $n \in \mathbb{N}$.

ii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ la sucesión definida por

$$a_1 = 1, a_2 = \frac{3}{2} \quad \text{y} \quad a_{n+2} = a_{n+1} + \frac{2n+1}{n+2}a_n \quad (n \in \mathbb{N})$$

Probar que $a_n > n + \frac{1}{3}$ para todo $n \in \mathbb{N}, n \geq 4$.

i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 1 \tag{1}$$

$$a_2 = 3 \tag{2}$$

$$a_{n+2} = a_{n+1} + 5a_n, \quad \forall n \in \mathbb{N} \tag{3}$$

Probemos la desigualdad que nos pide el ejercicio por inducción

$$P(n) : a_n < 1 + 3^{n-1}, \quad n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$ y $n = 2$:

$$P(1) : a_1 < 1 + 3^{1-1} \xrightarrow{(1)} P(1) : 1 < 2 \implies P(1) : V$$

$$P(2) : a_2 < 1 + 3^{2-1} \xrightarrow{(2)} P(2) : 3 < 4 \implies P(2) : V$$

Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}$:

HI. $P(n) : V$ y $P(n+1) : V$, donde $P(n+1) : a_{n+1} < 1 + 3^n$

TI. $P(n+2) : a_{n+2} < 1 + 3^{n+1}$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad en la TI

$$\begin{aligned} a_{n+2} &\stackrel{(3)}{=} a_{n+1} + 5a_n \stackrel{\text{HI}}{<} 1 + 3^n + 5(1 + 3^{n-1}) = 1 + 3^n + 5 + 5 \cdot 3^{n-1} \stackrel{\text{Aux}}{<} 1 + 3^n + 3^{n-1} + 5 \cdot 3^{n-1} \stackrel{*}{=} \\ &\stackrel{*}{=} 1 + 3^n + 6 \cdot 3^{n-1} = 1 + 3^n + 2 \cdot 3 \cdot 3^{n-1} = 1 + 3^n + 2 \cdot 3^n = 1 + 3 \cdot 3^n = 1 + 3^{n+1}, \quad n \geq 3 \\ &\implies a_{n+2} < 1 + 3^{n+1}, \quad n \geq 3 \implies P(n+2) : V, \quad n \geq 3 \end{aligned}$$

Como solo probamos el paso inductivo para $n \geq 3$, deberíamos ver que $P(n)$ y $P(n+1)$ son verdaderas para $n = 3$. O sea, queremos ver que $P(3)$ y $P(4)$ son verdaderas.

$$P(3) : a_3 < 1 + 3^{3-1} \stackrel{(3)}{\implies} P(3) : 8 < 9 \implies P(3) : V$$

$$P(4) : a_4 < 1 + 3^{4-1} \stackrel{(3)}{\implies} P(4) : 23 < 27 \implies P(4) : V$$

Probamos

- $P(1) : V, P(2) : V, P(3) : V, P(4) : V$
- $P(n) : V \wedge P(n+1) : V \implies P(n+2) : V, \quad \forall n \geq 3$

Podemos concluir que $P(n) : V, \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

Auxiliar Sea $n \in \mathbb{N}$

$$\begin{aligned} 5 < 3^{n-1} &\Leftrightarrow \log_3(5) < \log_3(3^{n-1}) \Leftrightarrow \log_3(5) < (n-1)\log_3(3) \Leftrightarrow \log_3(5) < n-1 \\ &\stackrel{*}{\Leftrightarrow} n > 1 + \log_3(5) \simeq 2.5 \implies 5 < 3^{n-1}, \quad \forall n \geq 3 \end{aligned}$$

ii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ definida por

$$a_1 = 1 \tag{1}$$

$$a_2 = \frac{3}{2} \tag{2}$$

$$a_{n+2} = a_{n+1} + \frac{2n+1}{n+2}a_n, \quad \forall n \in \mathbb{N} \tag{3}$$

Probemos la desigualdad que nos pide el ejercicio por inducción

$$P(n) : a_n > n + \frac{1}{3}, \quad n \in \mathbb{N}_{\geq 4}$$

Caso Base, $n = 4$ y $n = 5$:

$$\begin{aligned} P(4) : a_4 < 4 + \frac{1}{3} &\stackrel{(3)}{\implies} P(4) : \frac{35}{8} < \frac{13}{3} \implies 3 \cdot 35 > 8 \cdot 13 \implies 105 > 104 \implies P(4) : V \\ P(5) : a_5 < 5 + \frac{1}{3} &\stackrel{(3)}{\implies} P(5) : \frac{63}{8} < \frac{16}{3} \implies 3 \cdot 63 > 8 \cdot 16 \implies 189 > 128 \implies P(5) : V \end{aligned}$$

Paso inductivo. Sea $n \in \mathbb{N}_{\geq 4}$:

$$\text{HI. } P(n) : V \quad \text{y} \quad P(n+1) : V, \text{ donde } P(n+1) : a_{n+1} > n+1 + \frac{1}{3}$$

$$\text{TI. } P(n+2) : a_{n+2} > n+2 + \frac{1}{3}$$

Desarrollemos el lado izquierdo de la desigualdad en la TI

$$\begin{aligned} a_{n+2} &\stackrel{(3)}{=} a_{n+1} + \frac{2n+1}{n+2}a_n \stackrel{\text{HI}}{>} n+1 + \frac{1}{3} + \frac{2n+1}{n+2} \left(n + \frac{1}{3} \right) = n+1 + \frac{1}{3} + \frac{2n+1}{n+2} \left(n + \frac{1}{3} \right) + 1 - 1 \\ &\stackrel{*}{=} n+2 + \frac{1}{3} + \frac{2n+1}{n+2} \left(n + \frac{1}{3} \right) - 1 \stackrel{\text{Aux.1}}{\geq} n+2 + \frac{1}{3} + 1 \cdot \left(n + \frac{1}{3} \right) - 1 = n+2 + \frac{1}{3} + n + \frac{1}{3} - 1 \\ &\stackrel{**}{=} n+2 + \frac{1}{3} + n - \frac{2}{3} \stackrel{\text{Aux.2}}{\geq} n+2 + \frac{1}{3} + 0 \\ &\implies a_{n+2} > n+2 + \frac{1}{3} \implies P(n+2) : V \end{aligned}$$


Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Podemos concluir que $P(n) : V, \quad \forall n \in \mathbb{N}_{\geq 4}$.

Auxiliar 1 Sea $n \in \mathbb{N}$

$$\begin{aligned} 1 \leq n &\Leftrightarrow 1+1 \leq n+1 \Leftrightarrow 2 \leq n+1 \Leftrightarrow n+2 \leq n+n+1 \Leftrightarrow n+2 \leq 2n+1 \\ &\Leftrightarrow 1 \leq \frac{2n+1}{n+2} \end{aligned}$$

Auxiliar 2 Sea $n \in \mathbb{N}$

$$n \geq \frac{2}{3} \stackrel{!}{\Leftrightarrow} n - \frac{2}{3} \geq 0$$

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

 Marcos Zea 

 naD GarRaz 

20. Hallar una fórmula para el término general de las sucesiones definidas recursivamente a continuación y probar su validez.

i) $a_1 = \frac{1}{2}$ y $a_{n+1} = \frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^n a_i \right), \quad \forall n \in \mathbb{N}$

ii) $a_0 = 5$ y $a_n = \begin{cases} 2a_{n-1}, & \text{si } n \text{ es impar} \\ \frac{1}{5}a_{\frac{n}{2}}, & \text{si } n \text{ es par} \end{cases}, \quad \forall n \in \mathbb{N}$

i) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}_0}$ definida por

$$a_1 = \frac{1}{2} \tag{1}$$

$$a_{n+1} = \frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^n a_i \right), \quad \forall n \in \mathbb{N} \tag{2}$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para conjeturar una fórmula de su término n -ésimo

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^1 a_i \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} \right) = \frac{1}{4} = \frac{1}{2^2} \\ a_3 &= \frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^2 a_i \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \right) = \frac{1}{8} = \frac{1}{2^3} \\ a_4 &= \frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^3 a_i \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \right) = \frac{1}{16} = \frac{1}{2^4} \\ &\vdots \\ a_n &= \frac{1}{2^n} \end{aligned} \tag{3}$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(3). Hagamoslo por inducción

$$P(n) : a_n = \frac{1}{2^n}, \quad n \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $n = 1$:

$$P(1) : a_1 = \frac{1}{2^1} \stackrel{(1)}{=} \frac{1}{2} \implies P(1) : V$$

Paso inductivo. Sean $n, k \in \mathbb{N}$, donde $1 \leq k \leq n$:

HI. $P(k) : V, \quad \forall k$

TI. $P(n+1) : a_{n+1} = \frac{1}{2^{n+1}}$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$\begin{aligned} a_{n+1} &\stackrel{(2)}{=} \frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^n a_i \right) \stackrel{\text{HI}}{=} \frac{1}{2} \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} \right) \stackrel{\text{Aux}}{=} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2^n} \right) = \frac{1}{2^{n+1}} \\ a_{n+1} &= \frac{1}{2^{n+1}} \implies P(n+1) : V \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

Auxiliar Recordemos la suma geométrica para $q \in \mathbb{R} - \{0, 1\}$

$$\sum_{i=0}^n q^i = \frac{q^{n+1} - 1}{q - 1} \quad (4)$$

Calculemos $1 - \sum_{i=1}^n 1/2^i$

$$\begin{aligned} 1 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} &= 1 - 1 + 1 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} = 1 + 1 - \sum_{i=0}^n \frac{1}{2^i} = 2 - \sum_{i=0}^n \frac{1}{2^i} \stackrel{(1=1^i)}{=} 2 - \sum_{i=0}^n \frac{1^i}{2^i} \\ &= 2 - \sum_{i=0}^n \left(\frac{1}{2}\right)^i \stackrel{(4)}{=} 2 - \left(\frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{n+1} - 1}{\frac{1}{2} - 1}\right) = 2 - \left(\frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{n+1} - 1}{-\frac{1}{2}}\right) \\ &= 2 + \left(\frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{n+1} - 1}{\frac{1}{2}}\right) \stackrel{!!}{=} \frac{1}{2^n} \\ \implies 1 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i} &= \frac{1}{2^n} \end{aligned}$$

ii) Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}_0}$ definida por

$$a_0 = 5 \quad (1)$$

$$a_n = 2a_{n-1}, \text{ si } n \text{ es impar} \quad (2)$$

$$a_n = \frac{1}{5}a_{\frac{n}{2}}^2, \text{ si } n \text{ es par} \quad (3)$$

Veamos si hay algún patrón entre los términos de la sucesión para conjeturar una fórmula de su término n -ésimo

$$\begin{aligned} a_1 &= 2a_0 = 2 \cdot 5 = 10 = 2 \cdot 5 \\ a_2 &= \frac{1}{5}a_1^2 = \frac{1}{5} \cdot 10^2 = 20 = 2^2 \cdot 5 \\ a_3 &= 2a_2 = 2 \cdot 20 = 40 = 2^3 \cdot 5 \\ a_4 &= \frac{1}{5}a_2^2 = \frac{1}{5}20^2 = 80 = 2^4 \cdot 5 \\ &\vdots \\ a_n &= 2^n \cdot 5 \end{aligned} \quad (4)$$

Tenemos que probar que la sucesión dada por recurrencia satisface la sucesión que conjeturamos en la Ec.(4). Hagamoslo por inducción

$$P(n) : a_n = 2^n \cdot 5, n \in \mathbb{N}_0$$

Caso Base, $n = 0$:

$$P(0) : a_0 = 2^0 \cdot 5 = 5 \stackrel{(1)}{=} 5 \implies P(0) : V$$

Paso inductivo. Sean $n, k \in \mathbb{N}_0$, donde $0 \leq k \leq n$:

$$\text{HI. } P(k) : V, \quad \forall k$$

$$\text{TI. } P(n+1) : a_{n+1} = 2^{n+1} \cdot 5$$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI. Como a_n es sucesión partida, analizemos los casos donde n es par y otro donde es impar.


Caso n par (n par $\implies n+1$ impar):

$$\begin{aligned} a_{n+1} &\stackrel{(2)}{=} 2a_{n+1-1} = 2a_n \stackrel{\text{HI}}{=} 2 \cdot 2^n \cdot 5 = 2^{n+1} \cdot 5 \\ a_{n+1} &= 2^{n+1} \cdot 5 \implies P(n+1) : V, n \text{ par} \end{aligned}$$

Caso n impar (n impar $\implies n+1$ par):

$$\begin{aligned} a_{n+1} &\stackrel{(3)}{=} \frac{1}{5} a_{\frac{n+1}{2}}^2 \stackrel{\text{HI}}{=} \frac{1}{5} \cdot (2^{\frac{n+1}{2}} \cdot 5)^2 = \frac{1}{5} \cdot 2^{2 \cdot \frac{n+1}{2}} \cdot 5^2 = 2^{n+1} \cdot 5 \\ a_{n+1} &= 2^{n+1} \cdot 5 \implies P(n+1) : V, n \text{ impar} \end{aligned}$$

Por lo tanto, $P(n+1) : V$ para cualquier n natural. Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(n) : V, \forall n \in \mathbb{N}$.

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

 Marcos Zea 

21. Sea $f : \mathbb{R} - \{0, 1\} \rightarrow \mathbb{R} - \{0, 1\}$ definida por $f(x) = \frac{1}{1-x}$. Para $n \in \mathbb{N}$ se define:

$$f^n = \underbrace{f \circ f \circ \dots \circ f}_{n \text{ veces}}$$

Probar que $f^{3k}(x) = x$ para todo $k \in \mathbb{N}$.

Sea $f : \mathbb{R} - \{0, 1\} \rightarrow \mathbb{R} - \{0, 1\}$ definida por

$$f(x) = \frac{1}{1-x} \tag{1}$$

Sea $n \in \mathbb{N}$, definimos f^n como la composición de f consigo misma n veces

$$f^n = \underbrace{f \circ f \circ \dots \circ f}_{n \text{ veces}} \tag{2}$$

Probemos lo que pide el ejercicio por inducción

$$P(k) : f^{3k}(x) = x, k \in \mathbb{N}$$

Caso Base, $k = 1$:

$$\begin{aligned} P(1) : f^{3 \cdot 1}(x) &= f^3(x) \stackrel{(2)}{=} f \circ f \circ f(x) = f(f(f(x))) \stackrel{(1)}{=} f\left(f\left(\frac{1}{1-x}\right)\right) \stackrel{(1)}{=} f\left(\frac{1}{1 - \frac{1}{1-x}}\right) \\ &= f\left(\frac{1}{\frac{1-x-1}{1-x}}\right) = f\left(\frac{1}{\frac{-x}{1-x}}\right) = f\left(\frac{1-x}{-x}\right) = f\left(\frac{x-1}{x}\right) \\ &\stackrel{(1)}{=} \frac{1}{1 - \frac{x-1}{x}} = \frac{1}{\frac{x-x+1}{x}} = \frac{1}{\frac{1}{x}} = x \\ P(1) : f^3(x) &= x \implies P(1) : V \end{aligned}$$

Paso inductivo. Sea $k \geq 1$:


HI. $P(k) : V$

TI. $P(k+1) : f^{3(k+1)}(x) = x$

Desarrollemos el lado izquierdo de la igualdad en la TI

$$\begin{aligned} f^{3(k+1)}(x) &= f^{3k+3}(x) \stackrel{(2)}{=} f^{3k} \circ f^3(x) = f^{3k}(f^3(x)) \stackrel{P(1)}{=} f^{3k}(x) \stackrel{\text{HI}}{=} x \\ f^{3(k+1)}(x) &= x \implies P(k+1) : V \end{aligned}$$

Hemos probado el caso base y el paso inductivo. Concluimos que $P(k) : V, \forall k \in \mathbb{N}$.

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

 Marcos Zea 

22. Probar que todo número natural n se escribe como suma de distintas potencias de 2, incluyendo $2^0 = 1$.

Este ejercicio es probar que un número puede escribirse en *binario*, onda:

$$27 = (11011)_2 = 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

Probemos que todo número natural n se escribe como suma de distintas potencias de 2 usando inducción:

$$p(n) : n = \sum_{i=1}^r 2^{\alpha_i}, \text{ donde } \alpha_i \in \mathbb{N}_0 \text{ y si } \alpha_i \neq 0 \implies \alpha_i \neq \alpha_j \text{ si } i \neq j$$

Caso Base:

$$p(1) : 1 = 2^0$$

por lo que $p(1)$ resulta verdadera

Paso inductivo:

Asumo que para un $k \in \mathbb{N}$ la proposición:

$$p(k) : k = \underbrace{\sum_{i=1}^r 2^{\alpha_i}, \text{ donde } k \text{ y } \alpha_i \in \mathbb{N} \text{ y } \alpha_i \neq \alpha_j \text{ si } i \neq j}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : k+1 = \sum_{i=1}^s 2^{\alpha_i}, \text{ donde } \alpha_i \in \mathbb{N} \text{ y } \alpha_i \neq \alpha_j \text{ si } i \neq j \text{ con } k \text{ y } \alpha_i \in \mathbb{N}$$

también lo sea.

La hipótesis inductiva para un k :

$$k = \sum_{i=1}^r 2^{\alpha_i} = 2^0 + 2^1 + 2^2 + \dots + 2^{h-1} + 2^{h+1} + \dots + 2^{r-1} + 2^r$$

Sumándole 1:

$$\begin{aligned} k+1 &= 1 + \sum_{i=1}^r 2^{\alpha_i} = 1 + \underbrace{2^0 + 2^1 + 2^2 + \dots + 2^{h-2} + 2^{h-1}}_{\text{potencias con exponentes consecutivos}} + 2^{h+1} + \dots + 2^{r-1} + 2^r \\ &\stackrel{!}{=} 2^h + 2^{h+1} + \dots + 2^{r-1} + 2^r \end{aligned}$$


$p(k+1)$ resultó verdadera. Si la cuenta de recién quedó oscura, lo que pasó fue algo así como $2^\alpha + 2^\alpha = 2^{\alpha+1}$, ejemplo:



$$\underbrace{1+2^0}_{=2} + 2^1 + 2^2 + 2^3 = \underbrace{2+2^1}_{=2^2} + 2^2 + 2^3 = \underbrace{2^2+2^2}_{=2^3} + 2^3 = \underbrace{2^3+2^3}_{=2^4} = 2^4$$


En cierta forma al sumar "se hace un efecto dominó", en el cual las potencias de 2, con exponente no nulos, consecutivas *desaparecen* formando la potencia con el siguiente exponente. El "efecto dominó" termina cuando la sucesión de exponentes consecutivos termina, apareciendo una potencia de 2 con el exponente siguiente al último de los consecutivos.

Este *efecto* es el acarreo de toda la vida de la suma, el acarreo es ese *me llevo uno* cuando sumás.

Finalmente $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas y por el principio de inducción $p(n)$ es verdadera $\forall n \in \mathbb{N}$

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

 Marcos Zea 

 naD GarRaz 

🔥 Ejercicios de parciales:

🔥1. Probar para todo $n \in \mathbb{N}$ se cumple la siguiente desigualdad:

$$\frac{(2n)!}{(n!)^2} \leq (n+1)!$$

Se prueba usando el principio de inducción $\in \mathbb{N}$.

Proposición:

$$p(n) : \frac{(2n)!}{(n!)^2} \leq (n+1)!$$

Caso base: Evalúo en $n = 1$.

$$p(1) : \frac{(2 \cdot 1)!}{1!^2} = 2 \leq (1+1)! \quad \checkmark$$

Se concluye que $p(1)$ es verdadera.

Paso inductivo:

$$p(k) : \underbrace{\frac{(2k)!}{(k!)^2} \leq (k+1)!}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

la supongo verdadera.

Quiero probar que:

$$p(k+1) : \frac{(2(k+1))!}{(k+1)!^2} \leq (k+1+1)!$$

también lo es.

$$\frac{(2k+2)!}{(k+1)!^2} \leq (k+2)! \xleftrightarrow[\text{factorial}]{\text{abro}} \frac{(2k+2) \cdot (2k+1) \cdot (2k)!}{(k+1)^2 \cdot (k!)^2} \stackrel{\text{HI}}{\leq} \frac{\overbrace{(2k+2) \cdot (2k+1)}^{4 \cdot (k+1)(k+\frac{1}{2})}}{(k+1)^2} (k+1)! = \frac{4 \cdot (k+\frac{1}{2})}{k+1} (k+1)! \star^1$$

En \star^1 fácil probar que:

$$\frac{4 \cdot (k+\frac{1}{2})}{k+1} \stackrel{\star^2}{\leq} (k+2)$$

Por lo tanto queda:

$$\star^1 \leq (k+2)(k+1)! = (k+2)!$$

Y con este último resultado se llega a que:

$$\boxed{\frac{(2(k+1))!}{(k+1)!^2} \leq (k+2)!}$$

\star^2 se prueba fácil en 2 cuentas, queda como ejercicio para vos 🧠.

Es así que $p(1), p(k)$, y $p(k+1)$ resultaron verdaderas y por el principio de inducción $p(n)$ también lo será $\forall n \in \mathbb{N}$.

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

👉 naD GarRaz 🧡

🔥2. Probar que, para todo $n \in \mathbb{N}$,

$$\sum_{k=1}^{n+1} \frac{3}{n+k} \leq \frac{5}{2}.$$

Inducción:

$$p(n) : \sum_{k=1}^{n+1} \frac{3}{n+k} \leq \frac{5}{2} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : \sum_{k=1}^{1+1} \frac{3}{1+k} = \frac{3}{2} + \frac{3}{3} = \frac{5}{2} \leq \frac{5}{2}$$

Por lo que $p(1)$ resultó verdadera.

Paso inductivo: Asumo como verdadera para algún $j \in \mathbb{Z}$

$$p(j) : \underbrace{\sum_{k=1}^{j+1} \frac{3}{j+k}}_{\text{hipótesis inductiva}} \leq \frac{5}{2},$$

entonces quiero probar que:

$$p(j+1) : \sum_{k=1}^{j+1+1} \frac{3}{j+1+k} \leq \frac{5}{2},$$

también sea verdadera.

En los ejercicios donde la n aparece adentro de la sumatoria, conviene abrirla para encontrar la hipótesis inductiva. Arranco abriendo la sumatoria de $p(j)$ para que sea más fácil ubicar las cosas:

$$\sum_{k=1}^{j+1} \frac{3}{j+k} = \frac{3}{j+1} + \frac{3}{j+2} + \frac{3}{j+3} + \frac{3}{j+4} + \cdots + \frac{3}{2j} + \frac{3}{2j+1} \star^1$$

Ahora laburo con la expresión de $p(j+1)$:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{j+1+1} \frac{3}{j+1+k} &= \sum_{k=1}^{j+2} \frac{3}{j+1+k} = \frac{3}{j+1+1} + \frac{3}{j+1+2} + \frac{3}{j+1+3} + \cdots + \frac{3}{j+1+j-1} + \frac{3}{j+1+j} + \frac{3}{j+1+j+1} + \frac{3}{j+1+j+2} \\ &= \frac{3}{j+2} + \frac{3}{j+3} + \frac{3}{j+4} + \cdots + \frac{3}{2j} + \frac{3}{2j+1} + \frac{3}{2j+2} + \frac{3}{2j+3} \\ &\stackrel{!!}{=} -\frac{3}{j+1} + \underbrace{\frac{3}{j+1} + \frac{3}{j+2} + \frac{3}{j+3} + \frac{3}{j+4} + \cdots + \frac{3}{2j} + \frac{3}{2j+1}}_{\sum_{k=1}^{j+1} \frac{3}{j+k}} + \frac{3}{2j+2} + \frac{3}{2j+3} \\ &= -\frac{3}{j+1} + \frac{3}{2j+2} + \frac{3}{2j+3} + \sum_{k=1}^{j+1} \frac{3}{j+k} \\ &\stackrel{!}{=} \underbrace{-\frac{3}{2j+2} + \frac{3}{2j+3}}_{\leq 0} + \underbrace{\sum_{k=1}^{j+1} \frac{3}{j+k}}_{\text{HI}} \stackrel{\leq 0}{\leq} \frac{-3}{(j+2)(2j+3)} + \frac{5}{2} \stackrel{>0}{\leq} \frac{5}{2} \\ &\Rightarrow \boxed{\sum_{k=1}^{j+2} \frac{3}{j+1+k} \leq \frac{5}{2}} \end{aligned}$$

Mostrando que $p(j+1)$ también es verdadera.

Dado que $p(1), p(j), p(j+1)$ resultaron verdaderas por principio de inducción también lo es $p(n) \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

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

👉 naD GarRaz 🐼

👉 Gustavo Correa 🐼

🔥 3. Probar que

$$\sum_{k=1}^n (2k-1)^2 \geq \frac{(2n-1)^3}{6} \quad \forall n \in \mathbb{N}.$$

Ejercicio de inducción. Voy a probar que la proposición

$$p(n) : \sum_{k=1}^n (2k-1)^2 \geq \frac{(2n-1)^3}{6}$$

sea verdadera para todos los naturales.

Caso base:

$$p(1) : \sum_{k=1}^1 (2k-1)^2 = (2 \cdot 1 - 1)^2 = 1 \geq \frac{(2 \cdot 1 - 1)^3}{6} = \frac{1}{6}.$$

Por lo tanto $p(1)$ es verdadera ✓

Paso inductivo:

Asumo $p(h)$ verdadera, entonces quiero probar que $p(h+1)$ también lo sea. En este caso:

$$p(h) : \underbrace{\sum_{k=1}^h (2k-1)^2}_{\text{hipótesis inductiva}} \geq \frac{(2h-1)^3}{6}$$

para algún $h \in \mathbb{Z}$.

Quiero probar que:

$$\sum_{k=1}^{h+1} (2k-1)^2 \geq \frac{(2(h+1)-1)^3}{6} = \frac{(2h+1)^3}{6},$$

sea verdadera para algún $h \in \mathbb{Z}$.

$$\sum_{k=1}^{h+1} (2k-1)^2 = \sum_{k=1}^h (2k-1)^2 + (2(h+1)-1)^2 = \sum_{k=1}^h (2k-1)^2 + (2h+1)^2$$

Nota innecesaria pero que quizás aporta:

Lo que acabamos de hacer recién nos deja la HI regalada. Pero atento que esto solo suele funcionar cuando no tenemos a la 'n' en el término principal de la sumatoria. Después de hacerte éste, mirá el 🟡2.

Fin nota innecesaria pero que quizás aporta.

$$\sum_{k=1}^{h+1} (2k-1)^2 = \sum_{k=1}^h (2k-1)^2 + (2h+1)^2 \stackrel{\text{HI}}{\geq} \underbrace{\frac{(2h-1)^3}{6} + (2h+1)^2}_{\star^1} \geq \frac{(2h+1)^3}{6}$$

Si ocurre eso en \star^1 , entonces $p(h+1)$ será verdadera:

$$\begin{array}{ccc} \star^1 & \xLeftrightarrow{\times 6} & (2h-1)^3 + 6(2h+1)^2 \geq (2h+1)^3 \\ & \xLeftrightarrow[\text{a morir}]{\text{distribuyo}} & 8h^3 + 12h^2 + 30h + 5 \geq 8h^3 + 12h^2 + 6h + 1 \\ & \Leftrightarrow & 24h + 4 \geq 0 \quad \forall h \in \mathbb{N} \end{array}$$

Quedó entonces que:

$$\sum_{k=1}^{h+1} (2k-1)^2 \geq \frac{(2h+1)^3}{6},$$

concluyéndose que $p(h+1)$ también es verdadera.

Como tanto $p(1)$, $p(h)$ y $p(h+1)$ resultaron verdaderas, por el principio de inducción se tiene que $p(n)$ es verdadera para todo $n \in \mathbb{N}$.

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

👋 naD GarRaz 🍷

🔗 ¿Errores? [Avisá acá](#) así se corrige y ganamos todos.

Compilado: 14/09/25 @ 11:50 . Chequeá si hay una [versión nueva](#) → [acá](#).

[Ir a índice](#) ↑

🔥4. Hallar una fórmula cerrada para

$$\sum_{k=1}^n \frac{k}{(k+1)!}.$$

Probar su validez usando inducción.

Probando números viendo de encontrar un patrón:

$$\left\{ \begin{array}{l} n = 1 \rightarrow \sum_{k=1}^1 \frac{k}{(k+1)!} = \frac{1}{2} \\ n = 2 \rightarrow \sum_{k=1}^2 \frac{k}{(k+1)!} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6} \\ n = 3 \rightarrow \sum_{k=1}^3 \frac{k}{(k+1)!} = \frac{5}{6} + \frac{1}{8} = \frac{23}{24} \\ n = 4 \rightarrow \sum_{k=1}^4 \frac{k}{(k+1)!} = \frac{23}{24} + \frac{1}{30} = \frac{119}{120} \end{array} \right.$$

Es notable que una potencial fórmula cerrada sería:

$$(a_n)_{n \geq 1} = \frac{(n+1)! - 1}{(n+1)!}.$$

Inducción para probar la fórmula.

$$p(n) : \sum_{k=1}^n \frac{k}{(k+1)!} = \frac{(n+1)! - 1}{(n+1)!} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : \sum_{k=1}^1 \frac{k}{(k+1)!} = \frac{1}{2} = \frac{(1+1)! - 1}{(1+1)!} = \frac{1}{2} \quad \checkmark$$

$p(1)$ es verdadera.

Paso inductivo:

$$\text{asumo que } p(j) : \overbrace{\sum_{k=1}^j \frac{k}{(k+1)!}}^{\text{hipótesis inductiva}} = \frac{(j+1)! - 1}{(j+1)!} \quad \text{para algún } j \in \mathbb{N}, \text{ es verdadera.}$$

entonces, quiero ver que

$$p(j+1) : \sum_{k=1}^{j+1} \frac{k}{(k+1)!} = \frac{(j+1+1)! - 1}{(j+1+1)!} \quad \text{también es verdadera.}$$

$$\sum_{k=1}^{j+1} \frac{k}{(k+1)!} \stackrel{!}{=} \sum_{k=1}^j \frac{k}{(k+1)!} + \frac{j+1}{(j+2)!} \stackrel{\text{HI}}{=} \frac{(j+1)! - 1}{(j+1)!} + \frac{j+1}{(j+2)!} \stackrel{\text{!!!}}{=} \frac{(j+2)! - (j+2) + j+1}{(j+2)!} = \frac{(j+2)! - 1}{(j+2)!}.$$

Por lo tanto $p(j+1)$ es verdadera.

Si te quedaste pedaleando en el **!!!**, multipliqué y dividí por *algo* en el primer término, para tener mismo denominador y bla, bla, listo 🐼.

Dado que $p(1), p(j)$ y $p(j+1)$ son verdaderas por el principio de inducción, $p(n)$ también lo es para todo $n \in \mathbb{N}$.

🔥5. Probar que para todo $n \in \mathbb{N}$

$$\prod_{i=1}^n \frac{i!}{i+n} \geq \frac{1}{10}.$$

Ejercicio de inducción que tiene una productoria o sumatoria y una n en el término general. Si hiciste los ejercicios anteriores, sabés que hay que atacar el problema *abriendo la productoria*.

Proposición:

$$p(n) : \prod_{i=1}^n \frac{i!}{i+n} \geq \frac{1}{10} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base

$$p(1) : \prod_{i=1}^1 \frac{i!}{i+1} = \frac{1}{2} \geq \frac{1}{10} \quad \checkmark$$

El caso $p(1)$ resulta verdadero.

Paso inductivo:

Asumo que

$$p(k) : \underbrace{\prod_{i=1}^k \frac{i!}{i+k}}_{\text{hipótesis inductiva}} \geq \frac{1}{10} \quad \checkmark$$

es verdadero para algún $k \in \mathbb{Z}$. Y quiero probar que:

$$p(k+1) : \prod_{i=1}^{k+1} \frac{i!}{i+k+1} \geq \frac{1}{10}$$

también lo sea.

Empiezo abriendo las productorias para estudiar los factores, uno por uno:

$$\prod_{i=1}^k \frac{i!}{i+k} = \frac{1!}{k+1} \cdot \frac{2!}{k+2} \cdots \frac{(k-2)!}{2k-2} \cdot \frac{(k-1)!}{2k-1} \cdot \frac{k!}{2k}$$

$$\prod_{i=1}^{k+1} \frac{i!}{i+k+1} = \frac{1!}{k+2} \cdot \frac{2!}{k+3} \cdots \frac{(k-2)!}{2k-1} \cdot \frac{(k-1)!}{2k} \cdot \frac{k!}{2k+1} \cdot \frac{(k+1)!}{2k+2}$$

Con esos resultados hay que ver que todos los factores *corridos* de la productoria hasta k están ahí escondidos en la productoria de $k+1$. Tomate un tiempo para acomodar y hacer aparecer la *hipótesis inductiva*. Queda como corriendo los numeradores un lugar a la izquierda, no?

$$\begin{aligned} \prod_{i=1}^{k+1} \frac{i!}{i+k+1} &= \overbrace{\frac{k+1}{k+1}}^1 \cdot \frac{1!}{k+2} \cdot \frac{2!}{k+3} \cdots \frac{(k-2)!}{2k-1} \cdot \frac{(k-1)!}{2k} \cdot \frac{k!}{2k+1} \cdot \frac{(k+1)!}{2k+2} = \\ &\stackrel{!}{=} \frac{1!}{k+1} \cdot \frac{2!}{k+2} \cdot \frac{3!}{k+3} \cdots \frac{(k-2)!}{2k-2} \cdot \frac{(k-1)!}{2k-1} \cdot \frac{k!}{2k} \cdot \frac{(k+1)!}{2k+1} \cdot \frac{k+1}{2k+2} \end{aligned}$$

Oka, mismo truco viejo de siempre. Acomodar y multiplicar por un 1 disfrazado de cosas útiles. Ahora nos sacamos un montón de términos con la *hipótesis inductiva* y luego acotamos.

$$\prod_{i=1}^{k+1} \frac{i!}{i+k+1} \stackrel{\text{HI}}{\geq} \frac{1}{10} \cdot \frac{(k+1)!}{2k+1} \cdot \frac{k+1}{2k+2} = \frac{1}{20} \cdot \frac{(k+1)!}{2k+1} \stackrel{!}{\geq} \frac{1}{20} \cdot \frac{(k+1)!}{2k+2} = \frac{1}{40} \cdot k! \stackrel{!}{\geq} \frac{1}{10} \quad \forall k \in \mathbb{N}_{>2}$$


$$\prod_{i=1}^{k+1} \frac{i!}{i+k+1} \geq \frac{1}{10} \quad \forall k \in \mathbb{N}_{>2}$$

Y dado que

$$p(2) : \prod_{i=1}^2 \frac{i!}{i+2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{6} \geq \frac{1}{10} \quad \checkmark$$

es verdadera la acotación que hicimos nos sirve.

Es así que $p(1), p(2), p(k)$, y $p(k+1)$ resultaron verdaderas y por el principio de inducción $p(n)$ también lo será $\forall n \in \mathbb{N}$.

 **6.** Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ la sucesión de números reales definida por $a_1 = 3, a_2 = 6$, y para $n \geq 1$,

$$a_{n+2} = \frac{2n+3}{7}(a_{n+1} + 2a_n)$$

Probar que $a_n > 2^n \quad \forall n \in \mathbb{N}$

Sucesiones definidas por recurrencia e inducción.

Proposición: Quiero probar que

$$p(n) : a_n > 2^n \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Casos base:

$$\begin{aligned} p(1) : a_1 = 3 &> 2^1 = 2 \rightarrow a_1 > 2^1 \\ p(2) : a_2 = 6 &> 2^2 = 4 \rightarrow a_2 > 2^2 \end{aligned}$$

Los casos base $p(1), p(2)$ resultaron verdaderos.

Paso inductivo: Asumo como verdadero para algún $k \in \mathbb{N}$:

$$\begin{aligned} p(k) : \underbrace{a_k > 2^k}_{\text{hipótesis inductiva}} \\ p(k+1) : \underbrace{a_{k+1} > 2^{k+1}}_{\text{hipótesis inductiva}} \end{aligned}$$

Entonces quiero probar que:

$$p(k+2) : a_{k+2} > 2^{k+2}$$

también lo sea.

Usando la definición:

$$a_{k+2} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{2k+3}{7} \cdot (a_{k+1} + 2 \cdot a_k) \stackrel{\text{HI}}{>} \frac{2k+3}{7} \cdot (2^{k+1} + 2 \cdot 2^k) = \frac{2k+3}{7} \cdot (2^{k+2})$$

Por lo tanto se tiene que:

$$a_{k+2} > \frac{2k+3}{7} \cdot (2^{k+2}) \geq 2^{k+2} \quad \forall k \in \mathbb{N}_{\geq 2}$$


Es así que se cumple $p(k+2) \quad \forall k \in \mathbb{N}_{\geq 2}$

El caso que faltaría es con $k = 1$



$$p(3) : a_{1+2} = a_3 \stackrel{\text{def}}{=} \frac{5}{7}(6+6) = \frac{60}{7} > 2^3 = 8 \rightarrow a_3 > 2^3$$

también se cumple.

Dado que $p(1), p(2), p(3), p(k), p(k+1)$ y $p(k+2)$ son todas verdaderas, por principio de inducción $p(n)$ es verdadera $\forall n \in \mathbb{N}$.

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 ↑](#)

🔥7. Probar que, para todo $n \in \mathbb{N}$,

$$\sum_{i=1}^n (n-i)2^{i-1} = 2^n - n - 1.$$

Ejercicio de inducción 😊.

Queremos probar nuestra proposición $p(n)$:

$$p(n) : \sum_{i=1}^n (n-i)2^{i-1} = 2^n - n - 1 \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base ¿ $p(1)$ es verdadera?:

$$p(1) : \sum_{i=1}^1 (1-i)2^{i-1} = 0 = 2^1 - 1 - 1$$

Por lo tanto $p(1)$ resulta verdadera.

Paso inductivo:

Se asume que para algún $k \in \mathbb{N}$

$$p(k) : \underbrace{\sum_{i=1}^k (k-i)2^{i-1} = 2^k - k - 1}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Y queremos probar que:

$$p(k+1) : \sum_{i=1}^{k+1} (k+1-i)2^{i-1} = 2^{k+1} - (k+1) - 1 = 2^{k+1} - k - 2$$

también lo sea.

Empezando con $p(k+1)$. Acomodamos y vemos de hacer aparecer la hipótesis inductiva:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{k+1} (k+1-i)2^{i-1} &\stackrel{!!}{=} \sum_{i=1}^k (k-i)2^{i-1} + \sum_{i=1}^k 2^{i-1} + 0 \\ &\stackrel{HI}{=} 2^k - k - 1 + \sum_{i=1}^k 2^{i-1} \end{aligned}$$

En el !! saqué el término $k+1$ y después agrupé de manera conveniente para separar las sumatorias. Nos queda ahora esa sumatoria que no es otra cosa que una querida y odiada *serie geométrica*, esa que no te acordás, que si empieza en 0 o en 1, pero [acá tenés la formulita y coso en la teoría](#).

$$\sum_{i=1}^k 2^{i-1} \stackrel{!}{=} \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^k 2^i = \frac{1}{2} \cdot \frac{2^{k+1} - 2}{2 - 1} \stackrel{!}{=} 2^k - 1$$

Por lo tanto con ese resultado:

$$\sum_{i=1}^{k+1} (k+1-i)2^{i-1} \stackrel{!!}{=} 2^k - k - 1 + 2^k - 1 = 2^{k+1} - k - 2$$

Por lo tanto $p(k+1)$ también es verdadera.

Se demostró que $p(1), p(k)$ y $p(k+1)$ son verdaderas y por el principio de inducción $p(n)$ también lo es $\forall n \in \mathbb{N}$.

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

👋 Nad Garraz 🐼

👋 Ale Teran 🐼

🔗 ¿Errores? [Avisá acá](#) así se corrige y ganamos todos.

Compilado: 14/09/25 @ 11:50 . Chequeá si hay una [versión nueva](#) → [acá](#).

[Ir a índice](#) ↑

🔥8. Pruebe que la siguiente igualdad es cierta para todo $n \in \mathbb{N}$.

$$\frac{1}{9} \sum_{k=1}^n k \left(\frac{2}{3}\right)^{k-1} = \left(-\frac{n}{3} - 1\right) \left(\frac{2}{3}\right)^n + 1.$$

Este es simple, muy directo. *induccionemos!*

Quiero probar que:

$$p(n) : \frac{1}{9} \sum_{k=1}^n k \left(\frac{2}{3}\right)^{k-1} = \left(-\frac{n}{3} - 1\right) \left(\frac{2}{3}\right)^n + 1 \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base: ¿Es $p(1)$ verdadera?

$$p(1) : \frac{1}{9} \sum_{k=1}^1 k \left(\frac{2}{3}\right)^{k-1} = \frac{1}{9} \stackrel{!}{=} \left(-\frac{1}{3} - 1\right) \left(\frac{2}{3}\right)^1 + 1 = \frac{1}{9}$$

Por lo que $p(1)$ resultó ser verdadera.

Paso inductivo, asumo que:

$$p(h) : \underbrace{\frac{1}{9} \sum_{k=1}^h k \left(\frac{2}{3}\right)^{k-1} = \left(-\frac{h}{3} - 1\right) \left(\frac{2}{3}\right)^h + 1}_{\text{hipótesis inductiva}} \quad \text{para algún } h \in \mathbb{N}$$

es verdadero, entonces quiero probar que:

$$p(h+1) : \frac{1}{9} \sum_{k=1}^{h+1} k \left(\frac{2}{3}\right)^{k-1} = \left(-\frac{h+1}{3} - 1\right) \left(\frac{2}{3}\right)^{h+1} + 1$$

también lo sea.

Parto de $p(h+1)$ trato de enchufar la hipótesis inductiva en algún lado. Acomodo la sumatoria:

$$\begin{aligned} \frac{1}{9} \sum_{k=1}^{h+1} k \left(\frac{2}{3}\right)^{k-1} &= \frac{1}{9} \sum_{k=1}^h k \left(\frac{2}{3}\right)^{k-1} + \frac{1}{9}(h+1) \left(\frac{2}{3}\right)^h \stackrel{\text{HI}}{=} \left(-\frac{h}{3} - 1\right) \left(\frac{2}{3}\right)^h + 1 + \frac{1}{9}(h+1) \left(\frac{2}{3}\right)^h \stackrel{!}{=} \\ &\stackrel{!}{=} \left(\frac{2}{3}\right)^h \left(-\frac{2}{9}h - \frac{8}{9}\right) + 1 = \left(\frac{2}{3}\right)^{h+1} \left(-\frac{1}{3}h - \frac{4}{3}\right) + 1 \stackrel{!}{=} \left(\frac{2}{3}\right)^{h+1} \left(-\frac{h+1}{3} - 1\right) + 1 \end{aligned}$$

Probando así que $p(h+1)$ también es verdadera.

Dado que $p(1)$, $p(h)$ y $p(h+1)$ son verdaderas por criterio de inducción también lo es $p(n) \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

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

👋 naD GarRaz 🍷

🔥9. Probar que $\prod_{k=1}^n \frac{10k-5}{2k} > n3^{n-1}$ para todo $n \in \mathbb{N}$.

Inducción pura y dura.

Quiero probar la siguiente proposición:

$$p(n) : \prod_{k=1}^n \frac{10k-5}{2k} > n3^{n-1} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso Base:

$$p(1) : \prod_{k=1}^1 \frac{10k-5}{2k} > 13^{1-1} = \frac{5}{2} > 1 \cdot 3^{1-1} = 1$$

🍷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 ↑](#)

Por lo tanto $p(1)$ resultó ser verdadera.

Asumo ahora para algún $k \in \mathbb{N}$

$$p(h) : \underbrace{\prod_{k=1}^h \frac{10k-5}{2k} > h3^{h-1} > h \cdot 3^{h-1}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Y quiero probar que:

$$p(h+1) : \prod_{k=1}^{h+1} \frac{10k-5}{2k} > h+13^{h+1-1} > (h+1) \cdot 3^{h+1-1} = (h+1) \cdot 3^h$$

Partiendo del paso $(h+1)$ -ésimo:

$$\prod_{k=1}^{h+1} \frac{10k-5}{2k} = \frac{10(h+1)-5}{2(h+1)} \cdot \prod_{k=1}^h \frac{10k-5}{2k} \stackrel{\text{HI}}{>} \frac{10h+5}{2(h+1)} \cdot h \cdot 3^{h-1} \stackrel{!}{>} (h+1) \cdot 3^h$$

Si podemos probar que el último $>$ es verdadero, listo, ganamos. Acomodo un poco, nada raro:

$$10h^2 + 5h \stackrel{!}{>} 6(h+1)^2$$

Esa expresión es verdadera $\forall n \in \mathbb{N}$.

Dependiendo del grado de paranoia que uno tenga se va a poner a probar eso de todas las formas existentes, con análisis de función límites, derivadas, transformada de




Fourier y análisis complejo. Pero, yo no iría mucho más lejos que decir que el coeficiente principal de uno es más grande que el otro y son las dos crecientes y listo.




Dicho eso es verdad que el criterio final será del corrector, así, que andá a preguntale a alguien y listo.

Dado que $p(1), p(h)$ y $p(h+1)$ resultaron ser verdaderas, por el principio de inducción también lo es $p(n)$ para todo $n \in \mathbb{N}$ como se quería mostrar.

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

 naD GarRaz 

 **10.** Probar que $\sum_{i=1}^n \frac{3}{n+i} \geq \frac{37}{20}$ para todo $n \geq 3$.

Just another problem de inducción:

Quiero probar que:

$$p(n) : \sum_{i=1}^n \frac{3}{n+i} \geq \frac{37}{20} \quad \forall n \geq 3.$$

Caso base:

$$p(3) : \sum_{i=1}^3 \frac{3}{3+i} = \frac{3}{4} + \frac{3}{5} + \frac{3}{6} = \frac{37}{20} \geq \frac{37}{20}.$$

La proposición $p(3)$ resultó verdadera.

Paso inductivo: Voy a asumir que para algún $k \in \mathbb{N}_{\geq 3}$:

$$p(k) : \underbrace{\sum_{i=1}^k \frac{3}{k+i} \geq \frac{37}{20}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : \sum_{i=1}^{k+1} \frac{3}{k+1+i} \geq \frac{37}{20},$$

también lo sea.


Arranco por el $k + 1$, abro la sumatoria porque el término general tiene la n ahí en el medio. A mí me gusta así, no sé eso de cambiar los índices, estás bienvenido a subir tu solución alternativa con el cambio de índices que me tiene sin cuidado.

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{k+1} \frac{3}{k+1+i} &= \frac{3}{k+1+1} + \frac{3}{k+1+2} + \cdots + \frac{3}{k+1+k-2} + \frac{3}{k+1+k-1} + \frac{3}{k+1+k} + \frac{3}{k+1+k+1} \\ &= \frac{3}{k+2} + \frac{3}{k+3} + \cdots + \frac{3}{2k-1} + \frac{3}{2k} + \frac{3}{2k+1} + \frac{3}{2(k+1)}\end{aligned}$$

Ahora mirá fuerte esa última expresión y encontrá ahí la forma de *armar la expresión de la sumatoria de la hipótesis inductiva sumando y restando algo*:


$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{k+1} \frac{3}{k+1+i} &= -\frac{3}{k+1} + \underbrace{\frac{3}{k+1} + \frac{3}{k+2} + \frac{3}{k+3} + \cdots + \frac{3}{2k-1} + \frac{3}{2k}}_{\text{¡⊖!}} + \frac{3}{2k+1} + \frac{3}{2(k+1)} \\ &\stackrel{!}{=} \sum_{i=1}^k \frac{3}{k+i} - \frac{3}{k+1} + \frac{3}{2k+1} + \frac{3}{2(k+1)} \\ &\stackrel{\text{HI}}{\geq} \frac{37}{20} - \frac{3}{k+1} + \frac{3}{2k+1} + \frac{3}{2(k+1)} \stackrel{!}{=} \frac{37}{20} + \underbrace{\frac{3}{2(k+1)(2k+1)}}_{\geq 0 \quad \forall k \in \mathbb{N}} \geq \frac{37}{20}\end{aligned}$$

Por lo tanto $p(3), p(k)$ y $p(k+1)$ resultaron verdaderas entonces por el principio de inducción también lo es $p(n) \quad \forall n \in \mathbb{N}_{\geq 3}$

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

 naD GarRaz 

 Francisco Sureda 

 **11.** Sea $(F_k)_{k \in \mathbb{N}_0}$ la sucesión de números enteros, conocida como sucesión de Fibonacci, definida recursivamente por

$$F_0 = 0, F_1 = 1 \quad \text{y} \quad F_{k+2} = F_k + F_{k+1}, \quad \forall k \geq 0.$$

Probar que para todo $n \geq 1$ se tiene que $3 \mid F_{4n}$.

Inducción:

Quiero probar el siguiente *predicado*:

$$p(n) : 3 \mid F_{4n} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base:

$$p(1) : 3 \mid F_{4 \cdot 1}$$

Proposición que resulta verdadera dado que:

$$F_4 \stackrel{\text{def}}{=} F_2 + F_3 \stackrel{\text{def}}{=} 2F_0 + 3F_1 = 3 \Leftrightarrow 3 \mid F_4$$

Paso inductivo:

Asumo que para algún $h \in \mathbb{N}$ la siguiente proposición:

$$p(h) : \underbrace{3 \mid F_{4h}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Entonces quiero probar que la proposición:

$$p(h+1) : 3 \mid F_{4(h+1)},$$

también lo sea.

Parto del paso $h+1$, por definición se tiene que:

$$F_{4(h+1)} = F_{4h+4} \stackrel{\text{def}}{=} F_{4h+2} + F_{4h+3} \stackrel{\text{def}}{=} F_{4h} + 2F_{4h+1} + F_{4h+2} \stackrel{\text{def}}{=} 2F_{4h} + 3F_{4h+1} \stackrel{\text{HI}}{\stackrel{(3)}{=}} 0$$

 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 ↑](#)

Por lo tanto la proposición $p(h+1)$ también resultó verdadera. Si no viste bien porque la congruencia da 0, pensá que el primer término es *por algo* y el segundo término *por otra cosa*.

Como $p(1), p(h)$ y $p(h+1)$ resultaron verdaderas, por el principio de inducción también lo es $p(n) \forall n \in \mathbb{N}$.

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

👤 naD GarRaz 🔄

🔥12. [final 23/02/2023] Sea $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ la sucesión de números enteros definida recursivamente de la forma siguiente:

$$a_1 = 10, \quad a_{n+1} = 6a_n + 14^{n+2}$$

Probar que para todo $n \in \mathbb{N}$ se tiene que $(a_n : 2^{n+3}) = 2^n$.

Ejercicio de inducción, con leves notas de final.

Quiero probar la siguiente proposición:

$$p(n) : (a_n : 2^{n+3}) = 2^n \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Caso base, especificamos al predicado $p(n)$ en $n = 1$, así obteniendo la siguiente proposición:

$$p(1) : (a_1 : 2^{1+3}) = (10 : 16) = 2$$

Por lo tanto la proposición $p(1)$ resultó verdadera.

Paso inductivo: Asumo que para algún valor de $k \in \mathbb{N}$ la proposición:

$$p(k) : \underbrace{(a_k : 2^{k+3}) = 2^k}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera. Por lo tanto quiero comprobar que la proposición:

$$p(k+1) : (a_{k+1} : 2^{k+1+3}) = 2^{k+1},$$

también lo sea.

$$(a_{k+1} : 2^{k+1+3}) = 2^{k+1} \stackrel{\text{def}}{\iff} (6a_k + 14^{k+2} : 2^{k+1+3}) = 2^{k+1} \stackrel{!}{\iff} (2 \cdot 3 \cdot a_k + 7^{k+2} \cdot 2^{k+2} : 2^{k+1+3}) = 2^{k+1}$$

Dado que el *máximo común divisor* es un divisor común y por la *hipótesis inductiva* es fácil ver que:

$$\begin{aligned} 2^{k+1} \mid 2^{k+2} &\stackrel{!}{\iff} 2^{k+1} \mid 7^{k+2} \cdot 2^{k+2} \quad \star^1 \\ 2^k \mid a_k &\iff 2 \cdot 2^k \mid 2 \cdot a_k \stackrel{!!}{\iff} 2^{k+1} \mid 6 \cdot a_k \quad \star^2 \\ &\downarrow \text{HI} \end{aligned}$$

Sumando \star^1 y \star^2 :

$$2^{k+1} \mid 6 \cdot a_k + 7^{k+2} \cdot 2^{k+2} \quad \star^3$$

Ahí vemos que 2^{k+1} es un divisor común. Quiero ver que sea el *máximo*.

⚠ El *máximo común divisor* entre α y β se encuentra multiplicando las *potencias con bases comunes elevadas al menor exponente* de las factorizaciones en primos de α y β ⚠

La única potencia con base común a ambas expresiones es el 2 ¿Por qué? Pruebo ahora que el exponente tiene que ser $k+1$.

Dado que en la *hipótesis inductiva* el *máximo común divisor* es 2^k , es decir que:

$$2^k \mid a_k \wedge \underbrace{2^{k+1} \nmid a_k}_{\text{¿Por qué?}} \iff a_k = 2^k \cdot b_k \quad \text{con } b_k \text{ impar} \quad \star^4$$

Escribir la sucesión a_k de esa forma está bueno para mostrar en ★³ que:

$$2^{k+1} \mid 6 \cdot a_k + 7^{k+2} \cdot 2^{k+2} \xLeftrightarrow[\star^4]{!!} 2^{k+1} \mid 2^{k+1} \cdot \underbrace{(3 \cdot b_k + 7^{k+2} \cdot 2)}_{\text{impar}}$$

De forma tal que 2^{k+1} no solo es divisor común sino que es el máximo común divisor según la definición. Es así que la proposición $p(k+1)$ también resultó verdadera.

Dado que $p(1)$, $p(k)$, $p(k+1)$ resultaron verdaderas por principio de inducción también lo es $p(n) \quad \forall n \in \mathbb{N}$.

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

👉 naD GarRaz 🐼