

# Apunte Único: Álgebra I - Práctica 4

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

última actualización 25/04/25 @ 09:44

*Choose your destiny:*

*(doubleclick en los ejercicio para saltar)*

## • Notas teóricas

## • Ejercicios de la guía:

|    |     |     |     |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1. | 6.  | 11. | 16. | 21. | 26. | 31. | 36. |
| 2. | 7.  | 12. | 17. | 22. | 27. | 32. | 37. |
| 3. | 8.  | 13. | 18. | 23. | 28. | 33. | 38. |
| 4. | 9.  | 14. | 19. | 24. | 29. | 34. | 39. |
| 5. | 10. | 15. | 20. | 25. | 30. | 35. | 40. |

## • Ejercicios de Parciales

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

### 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:

- 📖<sup>0</sup><sub>1</sub> Mirar la solución ni bien te trabás, te *condicionas pavlovianamente* a **no** pensar. Necesitás darle tiempo al cerebro para llegar a la solución.
- 📖<sup>0</sup><sub>2</sub> Intentá un ejercicio similar, pero **más fácil**.
- 📖<sup>0</sup><sub>3</sub> ¿No sale el fácil? Intentá uno **aún más fácil**.
- 📖<sup>0</sup><sub>4</sub> Fijate si tenés un ejercicio similar hecho en clase. Y mirá ese, así no quemás el ejercicio de la guía.
- 📖<sup>0</sup><sub>5</sub> Tomate 2 minutos para formular una pregunta que realmente sea lo que **no** entendés. Decir '*no me sale*' ≠ +. 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 4 que tenés se actualizó por última vez:

25/04/25 @ 09:44

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

Guía 4



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:***Divisibilidad:*

- Definición divisibilidad y notación:

$$d \text{ divide a } a \xLeftrightarrow[\text{que decir}]{\text{es lo mismo}} a \text{ es un múltiplo entero de } d$$

$$d \mid a \iff \exists k \in \mathbb{Z} \text{ tal que } a = k \cdot d$$

- Conjunto de divisores de  $a$ :

$$\mathcal{D}(a) = \{-|a|, \dots, -1, 1, \dots, |a|\}.$$

- $d \mid 0$ , dado que  $0 = 0 \cdot d$ . Se desprende que  $\mathcal{D}(0) = \{\mathbb{Z} - \{0\}\}$
- A la hora de laburar con la divisibilidad “*los signos no importan*”:

$$\begin{cases} d \mid a \iff -d \mid a \text{ (pues } a = k \cdot d \iff a = (-k) \cdot (-d)) \\ d \mid a \iff d \mid -a \text{ (pues } a = k \cdot d \iff (-a) = (-k) \cdot d) \end{cases} \xRightarrow{\text{corta}} \boxed{d \mid a \iff |d| \mid |a|}$$

- Propiedades súper útiles para justificar los cálculos en los ejercicios:

$$\begin{cases} d \mid a \text{ y } d \mid b \implies d \mid a \pm b \\ d \mid a \implies d \mid c \cdot a, \forall c \in \mathbb{Z} \\ d \mid a \xLeftrightarrow{!!} d^n \mid a^n \forall n \in \mathbb{N} \end{cases}$$

**Error recurrente:**  $d \mid a \cdot b \not\implies \begin{cases} d \mid a \\ \text{o} \\ d \mid b \end{cases}$ . Por ejemplo  $6 \mid 3 \cdot 4$  pero  $\begin{cases} 6 \nmid 3 \\ \text{ni} \\ 6 \nmid 4 \end{cases}$

*Definición congruencia:*

- Definición congruencia:**

$$\begin{cases} 'a' \text{ es congruente a } 'b' \text{ módulo } 'd' \text{ si } d \mid a - b. & \text{Notación } \boxed{a \equiv b \ (d)} \\ a \equiv b \ (d) \iff d \mid a - b \end{cases}$$

- Sumar ecuaciones de congruencia *de mismo módulo*, conserva la congruencia:

$$\begin{cases} a_1 \equiv b_1 \ (d) \\ \vdots \\ a_n \equiv b_n \ (d) \end{cases} \implies a_1 + \dots + a_n \equiv b_1 + \dots + b_n \ (d)$$

- Multiplicar ecuaciones de congruencia *de mismo módulo*, conserva la congruencia:

$$\begin{cases} a_1 \equiv b_1 \ (d) \\ \vdots \\ a_n \equiv b_n \ (d) \end{cases} \implies a_1 \cdot \dots \cdot a_n \equiv b_1 \cdot \dots \cdot b_n \ (d)$$

Un caso particular con un simpático resultado:

$$n \text{ ecuaciones } \begin{cases} a \equiv b \ (d) \\ \vdots \\ a \equiv b \ (d) \end{cases} \implies \boxed{a^n \equiv b^n \ (d)}$$

Algoritmo de división:

- Dados  $a, d \in \mathbb{Z}$  con  $d \neq 0$ , existen únicos  $q$  (cociente),  $r$  (resto)  $\in \mathbb{Z}$  tales que:

$$\begin{cases} a = q \cdot d + r, \\ \text{con } 0 \leq r < |d|. \end{cases}$$

- Notación:**  $\boxed{r_d(a)}$  es el resto de dividir a  $a$  entre  $d$
- $\underbrace{0 \leq r < |d|}_{\text{cumple condición de resto}} \implies r = r_d(r)$ . Un número que cumple condición de resto, es su resto.

- Así es como me gusta pensar a la congruencia. La derecha es el resto de dividir a  $a$  entre  $d$ :

$$a \equiv r_d(a) \pmod{d}.$$

- Si  $d$  divide al número  $a$ , entonces el resto de la división es 0:

$$r_d(a) = 0 \iff d \mid a \iff a \equiv 0 \pmod{d}$$

- El resto es único:

$$a \equiv r \pmod{d} \text{ con } \underbrace{0 \leq r < |d|}_{\text{cumple condición de resto}} \implies r = r_d(a)$$

$$r_1 \equiv r_2 \pmod{d} \text{ con } \underbrace{0 \leq r_1, r_2 < |d|}_{\text{cumple condición de resto}} \implies r_1 = r_2$$

- Dos números que son congruentes módulo  $d$  entre sí, tienen igual resto al dividirse por  $d$ :

$$a \equiv b \pmod{d} \iff r_d(a) = r_d(b).$$

- Propiedades útiles para los ejercicios de calcular restos:

$$r_d(a + b) = r_d(r_d(a) + r_d(b)) \quad \text{y} \quad r_d(a \cdot b) = r_d(r_d(a) \cdot r_d(b))$$

ya que si,

$$\begin{cases} a \equiv r_d(a) \pmod{d} \\ b \equiv r_d(b) \pmod{d} \end{cases} \xrightarrow[\text{ecuaciones}]{\text{sumo}} a + b \equiv r_d(a) + r_d(b) \pmod{d}$$

y,

$$\begin{cases} a \equiv r_d(a) \pmod{d} \\ b \equiv r_d(b) \pmod{d} \end{cases} \xrightarrow[\text{ecuaciones}]{\text{multiplico}} a \cdot b \equiv r_d(a) \cdot r_d(b) \pmod{d}$$

Máximo común divisor:

- Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$ , no ambos nulos. El MCD entre  $a$  y  $b$  es el mayor de los divisores común entre  $a$  y  $b$  y se nota:

$$\boxed{\text{máximo común divisor: } \text{MCD} = (a : b)}$$

- $(a : b) \in \mathbb{N}$  (pues  $(a : b) \geq 1$ ) *siempre existe* y es *único*.

- Propiedades del  $(a : b)$ , con  $a$  y  $b \in \mathbb{Z}$ , no ambos nulos.

- ✱ Los signos no importan:  $(a : b) = (\pm a : \pm b)$
- ✱ Es simétrico:  $(a : b) = (b : a)$
- ✱ Entre 1 y  $a \in \mathbb{Z}$  siempre  $(a : 1) = 1$

- ✳ Entre 0 y  $a$  siempre  $(a : 0) = |a|$ ,  $\forall a \in \mathbb{Z} - \{0\}$
- ✳ si  $b \mid a \implies (a : b) = |b|$  con  $b \in \mathbb{Z} - \{0\}$
- ✳ Útil para ejercicios:  $(a : b) = (a : b + na)$  con  $n \in \mathbb{Z}$
- ✳ Útil para ejercicios:  $(a : b) = (a : r_a(b))$  con  $n \in \mathbb{Z}$
- ✳ Útil para ejercicios: Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  no ambos nulos, y sea  $k \in \mathbb{N}$

$$(ka : kb) = k(a : b)$$

- *Algoritmo de Euclides*: Para encontrar el  $(a : b)$  con números o expresiones feas. Hay que saber hacer esto. Fin. ¡Se usa de acá hasta el final de la materia!.
- *Combinación Entera*: Otra herramienta gloriosa que sale de hacer *Euclides*. Por ejemplo se usa cuando no se ve a ojo una solución en ecuaciones diofánticas. ¡Se usa de acá hasta el final de la materia!.

Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  no ambos nulos, entonces  $\exists s, t \in \mathbb{Z}$  tal que  $(a : b) = s \cdot a + t \cdot b$ .

- ✳ Todos los divisores comunes entre  $a$  y  $b$  dividen al  $(a : b)$ . Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  no ambos nulos,  $d \in \mathbb{Z} - \{0\}$ . Entonces:

$$d \mid a \text{ y } d \mid b \iff d \mid \underbrace{(a : b)}_{s \cdot a + t \cdot b}.$$

- ✳ Sea  $c \in \mathbb{Z}$  entonces  $\exists s', t' \in \mathbb{Z}$  con  $c = s'a + t'b \iff (a : b) \mid c$ .
- ✳ Todos los números múltiplos del MCD se escriben como combinación entera de  $a$  y  $b$ .
- ✳ Si un número es una combinación entera de  $a$  y  $b$  entonces es un múltiplo del MCD.

*Coprimos*:

- Definición coprimos:

Dados  $a, b \in \mathbb{Z}$ , no ambos nulos, se dice que son *coprimos* si  $(a : b) = 1$

$$\begin{aligned} a \perp b &\iff (a : b) = 1 \\ a \perp b &\iff \exists s, t \in \mathbb{Z} \text{ tal que } 1 = s \cdot a + t \cdot b \end{aligned}$$

- Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  no ambos nulos. *coprimizar* los números es dividirlos por su máximo común divisor, para obtener un nuevo par que sea coprimo:

$$(a : b) \neq 1 \xrightarrow{\text{coprimizar}} a' = \frac{a}{(a : b)}, b' = \frac{b}{(a : b)}, \implies \boxed{(a' : b') = 1} \quad \checkmark$$

- ¡Causa de muchos errores! Sean  $a, c, d \in \mathbb{Z}$  con  $c, d$  no nulos. Entonces:

$$c \mid a \text{ y } d \mid a \text{ y } c \perp d \stackrel{!!}{\iff} c \cdot d \mid a$$

Al ser  $c$  y  $d$  coprimos, pienso a  $a$  como un número cuya factorización tiene a  $c, d$  y la coprimicidad hace que en la factorización aparezca  $c \cdot d$ . (no sé, así lo piensa mi 🍷).

- Sean  $a, b, d \in \mathbb{Z}$  con  $d \neq 0$ . Entonces:

$$d \mid a \cdot b \text{ y } d \perp a \implies d \mid b$$

- *Primos y Factorización*:

- Sea  $p$  primo y sean  $a, b \in \mathbb{Z}$ . Entonces:

$$p \mid a \cdot b \implies p \mid a \quad \text{o} \quad p \mid b$$

- Si  $p$  divide a algún producto de números, tiene que dividir a alguno de los factores  $\rightarrow$   
Sean  $a_1, \dots, a_n \in \mathbb{Z}$ :

$$\begin{cases} p \mid a_1 \cdot a_2 \cdots a_n \implies p \mid a_i \text{ para algún } i \text{ con } 1 \leq i \leq n. \\ p \mid a^n \implies p \mid a. \end{cases}$$

- Si  $a \in \mathbb{Z}$ ,  $p$  primo:

$$\begin{cases} (a : p) = 1 \iff p \nmid a \\ (a : p) = p \iff p \mid a \end{cases}$$

- Sea  $n \in \mathbb{Z} - \{0\}$ ,  $n = \underbrace{s}_{\{-1,1\}} \cdot \prod_{i=1}^k p_i^{\alpha_i} = p_1^{\alpha_1} \cdots p_k^{\alpha_k}$  su factorización en primos. Entonces todo divisor  $m$  positivo de  $n$  se escribe como:

$$\begin{cases} \text{Si } m \mid n \rightarrow m = p_1^{\beta_1} \cdots p_k^{\beta_k} \text{ con } 0 \leq \beta_i \leq \alpha_i, \forall i \ 1 \leq i \leq k \\ \text{y hay} \\ (\alpha_1 + 1) \cdot (\alpha_2 + 1) \cdots (\alpha_k + 1) = \prod_{i=1}^k \alpha_i + 1 \\ \text{divisores positivos de } n. \end{cases}$$

- Sean  $a$  y  $b \in \mathbb{Z}$  no nulos, con

$$\begin{cases} a = \pm p_1^{m_1} \cdots p_r^{m_r} \text{ con } m_1, \dots, m_r \in \mathbb{Z}_0 \\ b = \pm p_1^{n_1} \cdots p_r^{n_r} \text{ con } n_1, \dots, n_r \in \mathbb{Z}_0 \\ \begin{cases} \implies (a : b) = p_1^{\min\{m_1, n_1\}} \cdots p_r^{\min\{m_r, n_r\}} \\ \implies [a : b] = p_1^{\max\{m_1, n_1\}} \cdots p_r^{\max\{m_r, n_r\}} \end{cases} \end{cases}$$

- Sean  $a, d \in \mathbb{Z}$  con  $d \neq 0$  y sea  $n \in \mathbb{N}$ . Entonces

$$d \mid a \iff d^n \mid a^n.$$

- Sean  $a, b, c \in \mathbb{Z}$  no nulos:

- \*  $a \perp b \iff$  no tienen primos en común.
- \*  $(a : b) = 1$  y  $(a : c) = 1 \iff (a : bc) = 1$
- \*  $(a : b) = 1 \iff (a^m : b^n) = 1, \forall m, n \in \mathbb{N}$
- \*  $(a^n : b^n) = (a : b)^n \forall n \in \mathbb{N}$

- Si  $a \mid m \wedge b \mid m$ , entonces  $[a : b] \mid m$

- $(a : b) \cdot [a : b] = |a \cdot b|$

## Ejercicios de la guía:

Divisibilidad

1. Decidir si las siguientes afirmaciones son verdaderas  $\forall a, b, c \in \mathbb{Z}$

- |  |   |
|--|---|
| a) $a \cdot b \mid c \implies a \mid c$ y $b \mid c$ | f) $a \mid c$ y $b \mid c \implies a \cdot b \mid c$          |
| b) $4 \mid a^2 \implies 2 \mid a$                    | g) $a \mid b \implies a \leq b$                               |
| c) $2 \mid a \cdot b \implies 2 \mid a$ o $2 \mid b$ | h) $a \mid b \implies  a  \leq  b $                           |
| d) $9 \mid a \cdot b \implies 9 \mid a$ o $9 \mid b$ | i) $a \mid b + a^2 \implies a \mid b$                         |
| e) $a \mid b + c \implies a \mid b$ o $a \mid c$     | j) $a \mid b \implies a^n \mid b^n, \forall n \in \mathbb{N}$ |

a)  $a \cdot b \mid c \implies a \mid c$  y  $b \mid c$

$$\begin{cases} c = k \cdot a \cdot b = \underbrace{h}_{k \cdot b} \cdot a \implies a \mid c & \checkmark \\ c = k \cdot a \cdot b = \underbrace{i}_{k \cdot a} \cdot b \implies b \mid c & \checkmark \end{cases}$$

b)  $4 \mid a^2 \implies 2 \mid a$

$$a^2 = k \cdot 4 = \underbrace{h}_{k \cdot 2} \cdot 2 \implies a^2 \mid 2 \xrightarrow[\implies a \mid c \wedge b \mid c]{\text{si } a \cdot b \mid c} a \mid 2 \quad \checkmark$$

c)  $2 \mid a \cdot b \implies 2 \mid a$  o  $2 \mid b$

$$\text{Si } 2 \mid a \cdot b \implies \left\{ \begin{array}{c} a \text{ tiene que ser par} \\ \vee \\ b \text{ tiene que ser par} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{para que}} a \cdot b \text{ sea par. Por lo tanto si } 2 \mid a \cdot b \implies 2 \mid a \text{ o } 2 \mid b.$$

d)  $9 \mid a \cdot b \implies 9 \mid a$  o  $9 \mid b$

Si  $a = 3 \wedge b = 3$ , se tiene que  $9 \mid 9$ , sin embargo  $9 \nmid 3$

e)  $a \mid b + c \implies a \mid b$  o  $a \mid c$

$$12 \mid 20 + 4 \implies 12 \nmid 20 \text{ y } 12 \nmid 4$$

f) \_\_\_\_\_

☹... hay que hacerlo! 📄

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

g) \_\_\_\_\_

☹... hay que hacerlo! 📄

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

h) \_\_\_\_\_

☹... hay que hacerlo! 📄

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

i)  $a \mid b + a^2 \implies a \mid b$

$$a \mid b + a^2 \implies b + a^2 = k \cdot a \xrightarrow{\text{acomodo}} b = (k - a) \cdot a = h \cdot a \implies a \mid b \quad \checkmark$$

$$\xrightarrow[\text{decir si:}]{\text{también puedo}} \left\{ \begin{array}{c} a \mid a^2 \\ a \mid b - a^2 \end{array} \right\} \xrightarrow[\text{propiedad}]{\text{por}} a \mid (b - a^2) + (a^2) = b \implies a \mid b \quad \checkmark$$



j)  $a \mid b \implies a^n \mid b^n, \forall n \in \mathbb{N}$

Pruebo por inducción.

$$p(n) : a \mid b \implies a^n \mid b^n$$

Caso base:

$$n = 1 \implies a \mid b \implies a^1 \mid b^1 \quad \checkmark$$

$p(1)$  resulta verdadera.

Paso inductivo:

Asumo  $\underbrace{p(h) : a \mid b \implies a^h \mid b^h}_{\text{hipótesis inductiva}}$  verdadera  $\implies$  quiero ver que  $p(h+1) : a \mid b \implies a^{h+1} \mid b^{h+1}$

Parto de la hipótesis inductiva y voy llegar a  $p(k+1)$ . Si:


$$a \mid b \xrightarrow{\text{HI}} a^k \mid b^k \Leftrightarrow a^k \cdot c = b^k \xLeftrightarrow{\times b} b \cdot a^k \cdot c = b^{k+1} \xLeftrightarrow{\frac{a \mid b}{a \cdot d = b}} a \cdot d \cdot a^k \cdot c = a^{k+1} \cdot (cd) = b^{k+1} \Leftrightarrow a^{k+1} \mid b^{k+1}.$$

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

Este resultado es importante y se va a ver en muchos ejercicios:

$$a \mid b \implies a^n \mid b^n \Leftrightarrow b \equiv 0 \pmod{a} \implies b^n \equiv 0 \pmod{a^n} \xLeftrightarrow[0 \equiv a^n]{(a^n)} b^n \equiv a^n \pmod{a^n}$$

$$\boxed{a \mid b \implies b^n \equiv a^n \pmod{a^n}}$$

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

 naD  GarRaz 

2. Hallar todos los  $n \in \mathbb{N}$  tales que:

a)  $3n - 1 \mid n + 7$

c)  $2n + 1 \mid n^2 + 5$

b)  $3n - 2 \mid 5n - 8$

d)  $n - 2 \mid n^3 - 8$

a) Busco eliminar la  $n$  del *miembro* derecho.

$$\left\{ \begin{array}{l} 3n - 1 \mid n + 7 \\ 3n - 1 \mid 3n - 1 \end{array} \right\} \xrightarrow{3F_1 - F_2 \rightarrow F_1} \left\{ \begin{array}{l} 3n - 1 \mid 22 \\ 3n - 1 \mid 3n - 1 \end{array} \right\}$$

Con ese resultado sé que  $3n - 1$  es un posible divisor de 22:

$$d = 3n - 1 \in \{\pm 1, \pm 2, \pm 11, \pm 22\}$$

Pero ahora hay que probar para cuáles valores de  $n$ , obtengo alguno de esos valores  $d$ .

Probando a manopla:

$$\begin{array}{lll} d = 1 & \xRightarrow{\text{skull}} & n = \emptyset \\ d = 2 & \xRightarrow[\text{con}]{\text{sale}} & n = 1 \\ d = 11 & \xRightarrow[\text{con}]{\text{sale}} & n = 4 \\ d = 22 & \xRightarrow{\text{skull}} & n = \emptyset \end{array}$$

b) Trato de sacar la  $n$  del lado derecho:

$$\left\{ \begin{array}{l} 3n - 2 \mid 5n - 8 \\ 3n - 2 \mid 3n - 2 \end{array} \right. \xrightarrow{3F_1 - 5F_2 \rightarrow F_1} \left\{ \begin{array}{l} 3n - 2 \mid -14 \\ 3n - 2 \mid 3n - 2 \end{array} \right.$$

Con ese resultado sé que  $3n - 2$  es un posible divisor de 14:

$$d = 3n - 2 \in \{\pm 1, \pm 2, \pm 7, \pm 14\}$$

Pero ahora hay que probar para cuáles valores de  $n$ , obtengo alguno de esos valores  $d$ :

$$\begin{array}{ll} d = 1 & \xrightarrow[\text{con}]{\text{sale}} n = 1 \\ d = 2 & \xrightarrow[\text{con}]{\text{sale}} n = \emptyset \\ d = 7 & \xrightarrow[\text{con}]{\text{sale}} n = 3 \\ d = 14 & \xrightarrow[\text{con}]{\text{sale}} n = \emptyset \end{array}$$

c) Trato de sacar la  $n$  del lado derecho:

$$\left\{ \begin{array}{l} 2n + 1 \mid n^2 + 5 \\ 2n + 1 \mid 2n + 1 \end{array} \right. \xrightarrow{nF_2 - 2F_1 \rightarrow F_1} \left\{ \begin{array}{l} 2n + 1 \mid n - 10 \\ 2n + 1 \mid 2n + 1 \end{array} \right. \xrightarrow{2F_1 - F_2 \rightarrow F_1} \left\{ \begin{array}{l} 2n + 1 \mid -21 \\ 2n + 1 \mid 2n + 1 \end{array} \right.$$

Con ese resultado sé que  $2n + 1$  es un posible divisor de 21:

$$d = 2n + 1 \in \{\pm 1, \pm 3, \pm 7, \pm 21\}$$

Pero ahora hay que probar para cuáles valores de  $n$ , obtengo alguno de esos valores  $d$ , pero me da pajilla 🤔.

d) A veces se ve y a veces no, pero:

$$\begin{array}{r} n^3 \qquad \qquad -8 \mid n - 2 \\ -n^3 + 2n^2 \qquad \qquad \mid n^2 + 2n + 4 \\ \hline 2n^2 \\ -2n^2 + 4n \\ \hline 4n - 8 \\ -4n + 8 \\ \hline 0 \end{array}$$

Por lo que:

$$n^3 - 8 \stackrel{!}{=} (n - 2) \cdot (n^2 + 2n + 4) \implies n - 2 \mid n^3 - 8 \quad \forall n \in \mathbb{N}_{\neq 2}$$

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

👉 naD GarRaz 🤖

3. Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$ .

a) Probar que  $a - b \mid a^n - b^n$  para todo  $n \in \mathbb{N}$  y  $a \neq b \in \mathbb{Z}$

b) Probar que si  $n$  es un número natural par y  $a \neq -b$ , entonces  $a + b \mid a^n - b^n$ .

c) Probar que si  $n$  es un número natural impar y  $a \neq -b$ , entonces  $a + b \mid a^n + b^n$ .

a) *Inducción:*

*Proposición:*

$$p(n) : a - b \mid a^n - b^n \quad \forall n \in \mathbb{N} \quad \text{y} \quad a \neq b \in \mathbb{Z}$$

*Caso Base:*

$$p(1) : a - b \mid a^1 - b^1,$$

$p(1)$  es verdadera. ✓

*Paso inductivo:*

Asumo que

$$p(k) : a - b \mid a^k - b^k$$

hipótesis inductiva

es verdadera  $\implies$  quiero probar que

$$p(k+1) : a - b \mid a^{k+1} - b^{k+1}$$

también lo sea.

Parto de algo verdadero, de la **hipótesis inductiva**:

$$\left\{ \begin{array}{l} a - b \mid a^k - b^k \\ a - b \mid a - b \end{array} \right\} \xrightarrow[\times b^k]{\times a} \left\{ \begin{array}{l} a - b \mid a^{k+1} - ab^k \\ a - b \mid ab^k - b^{k+1} \end{array} \right\} \xrightarrow{F_1 + F_2} \left\{ a - b \mid a^{k+1} - b^{k+1} \right\}$$

La *epifanía* esa de multiplicar **a** y **b<sup>k</sup>** se te puede ocurrir o no, si no la viste, no te mortifiques, *la cosa no va por ahí* ☺.

Como  $p(1)$ ,  $p(k)$  y  $p(k+1)$  resultaron verdaderas por el principio de inducción  $p(n)$  también lo es.

b) Sé que

$$a + b \mid a + b \xLeftrightarrow{\text{def}} a \equiv -b \pmod{a+b}$$

Multiplicando la ecuación de congruencia por **a** sucesivas veces me formo:

$$\left\{ \begin{array}{l} a \cdot a = a^2 \stackrel{(a+b)}{\equiv} a \cdot (-b) \stackrel{(a+b)}{\equiv} (-1)^2 b \\ \vdots \\ a^n \stackrel{(a+b)}{\equiv} (-1)^n \cdot b^n \end{array} \right\} \xleftarrow{\star^1} \rightarrow \left\{ \begin{array}{ll} a^n \equiv b^n \pmod{a+b} & \text{con } n \text{ par} \\ a^n \equiv (-1)^n \cdot b^n \pmod{a+b} & \text{con } n \text{ impar} \end{array} \right.$$

$$\boxed{\left\{ \begin{array}{ll} \text{Con } n \text{ par:} & a^n \equiv b^n \pmod{a+b} \implies a+b \mid a^n - b^n \\ \text{Con } n \text{ impar:} & a^n \equiv -b^n \pmod{a+b} \implies a+b \mid a^n + b^n \end{array} \right.}$$

**★<sup>1</sup>** *Inducción:*

$$p(n) : a \equiv -b \pmod{a+b} \implies a^n \equiv (-1)^n \cdot b^n \pmod{a+b} \quad \forall n \in \mathbb{N}.$$

*Caso base:*

$$p(1) : a \equiv -b \pmod{a+b} \implies a^1 \equiv (-1)^1 \cdot b^1 \pmod{a+b}$$

$p(1)$  es verdadera.

*Paso inductivo:*

Asumo que

$$p(k) : a \equiv -b \pmod{a+b} \implies a^k \equiv (-1)^k \cdot b^k \pmod{a+b}$$

hipótesis inductiva

es verdadera asumo verdadera para algún  $k \in \mathbb{Z}$

Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : a \equiv -b \pmod{a+b} \implies a^{k+1} \equiv (-1)^{k+1} \cdot b^{k+1} \pmod{a+b}$$

también lo sea.

Partiendo de  $p(k)$ , la **hipótesis inductiva**:

$$\begin{aligned} a \equiv -b \ (a+b) &\implies a^k \equiv (-1)^k \cdot b^k \ (a+b) \xrightarrow{\times a} a \cdot a^k = a^{k+1} \equiv (-1)^k \cdot \overset{(a+b)}{\equiv -b} \cdot b^k \ (a+b) \\ &\implies a^{k+1} \equiv (-1)^{k+1} \cdot b^{k+1} \ (a+b) \\ &\stackrel{\text{def}}{\iff} a+b \mid a^{k+1} - (-1)^{k+1} b^{k+1} \end{aligned}$$

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

c) Hecho en el anterior 🙌.

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

👉 naD GarRaz 🙌

👉 Oliv Portero 🙌

4. Sea  $a \in \mathbb{Z}$  impar. Probar que  $2^{n+2} \mid a^{2^n} - 1$  para todo  $n \in \mathbb{N}$

Pruebo por inducción:

$$p(n) : 2^{n+2} \mid a^{2^n} - 1, \text{ con } a \in \mathbb{Z} \text{ e impar. } \forall n \in \mathbb{N}.$$

Caso base:

$$\begin{aligned} p(1) : 2^3 = 8 \mid a^2 - 1 &= (a-1) \cdot (a+1) \\ &\xrightarrow[a=2m-1]{a \text{ es impar, si } m \in \mathbb{Z}} \\ (a-1) \cdot (a+1) &\stackrel{\star^1}{=} (2m-2) \cdot (2m) \stackrel{!}{=} 4 \cdot \underbrace{m \cdot (m-1)}_{\text{par: } 2h, h \in \mathbb{Z}} = 4 \cdot 2h = 8 * h \\ &\xrightarrow[\text{tanto}]{\text{por lo}} \\ 8 \mid 8h &= (a-1) \cdot (a+1) \text{ para algún } h \in \mathbb{Z} \quad \checkmark \end{aligned}$$

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

Paso inductivo:

Asumo que:  $p(k) : 2^{k+2} \mid a^{2^k} - 1$ , es verdadera  $\implies$  Quiero ver que  $p(k+1) : 2^{k+3} \mid a^{2^{k+1}} - 1$ , también lo sea.

$$\begin{aligned} 2^{k+3} \mid a^{2^{k+1}} - 1 &\stackrel{!}{\iff} 2^{k+2} \cdot 2 \mid (a^{2^k} - 1) \cdot \overbrace{(a^{2^k} + 1)}^{\text{par } !} \\ &\stackrel{\text{Si } a \mid b \text{ y } c \mid d \implies ac \mid bd}{\iff} \underbrace{2^{k+2} \cdot 2 \mid (a^{2^k} - 1)}_{\text{hipótesis inductiva}} \cdot \underbrace{(a^{2^k} + 1)}_{\text{par}}. \end{aligned}$$

El ! es todo tuyo, *hints*: diferencia de cuadrados, propiedades de exponentes... 🙌

En el último paso se comprueba que  $p(k+1)$  es verdadera.

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

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

👉 naD GarRaz 🙌

5. 🤖... hay que hacerlo! 🤖

Si querés mandá la solución  $\rightarrow$  al grupo de Telegram 🗣️, o mejor aún si querés subirlo en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  $\rightarrow$  una pull request al 🙌.

🙌 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.

- a) Probar que el producto de  $n$  enteros consecutivos es divisible por  $n!$   
 b) Probar que  $\binom{2n}{n}$  es divisible por 2.

🔴... hay que hacerlo! 🚫

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

7. Proba que las siguientes afirmaciones son verdaderas para todo  $n \in \mathbb{N}$ .

- a)  $99 \mid 10^{2n} + 197$  c)  $56 \mid 13^{2n} + 28n^2 - 84n - 1$   
 b)  $9 \mid 7 \cdot 5^{2n} + 2^{4n+1}$  d)  $256 \mid 7^{2n} + 208n - 1$

$$\begin{aligned} \text{a) } 99 \mid 10^{2n} + 197 &\stackrel{\text{def}}{\iff} 10^{2n} + 197 \equiv 0 \pmod{99} \rightarrow 10^{2n} + 198 \equiv 1 \pmod{99} \rightarrow 10^{2n} + \underbrace{198}_{\substack{(99) \\ \equiv 0}} \equiv 1 \pmod{99} \rightarrow 100^n \equiv 1 \pmod{99} \rightarrow \\ &\left\{ \begin{array}{l} \text{sé} \\ \text{que} \end{array} \right. 100 \equiv 1 \pmod{99} \iff 100^2 \equiv \underbrace{100}_{\substack{(99) \\ \equiv 1}} \pmod{99} \rightarrow 100^2 \equiv 1 \pmod{99} \iff \dots \iff 100^n \equiv 1 \pmod{99} \\ \text{Se concluye que } 99 \mid 10^{2n} + 197 &\iff 99 \mid \underbrace{100 - 1}_{99} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } 9 \mid 7 \cdot 5^{2n} + 2^{4n+1} &\stackrel{\text{def}}{\iff} 7 \cdot 5^{2n} + 2^{4n+1} \equiv 0 \pmod{9} \xrightarrow[\text{M.A.M.}]{\text{sumo } 2 \cdot 5^{2n}} \underbrace{9 \cdot 5^{2n}}_{\substack{(9) \\ \equiv 0}} + 2 \cdot 2^{4n} \equiv 2 \cdot 5^{2n} \pmod{9} \\ &\xrightarrow[\text{y acomodo}]{\text{simplifico}} 2^{4n} \equiv 5^{2n} \pmod{9} \rightarrow 16^n \equiv 25^n \pmod{9} \xrightarrow[\text{congruencia}]{\text{simetría}} 25^n \equiv 16^n \pmod{9} \xrightarrow{25 \stackrel{(9)}{\equiv} 16} 25 \equiv 16 \pmod{9} = 9 \equiv 0 \pmod{9} \\ \text{Se concluye que } 9 \mid 7 \cdot 5^{2n} + 2^{4n+1} &\iff 9 \mid 9 \leftarrow \text{¿Se concluye esto...?} \end{aligned}$$

c) 🔴... hay que hacerlo! 🚫

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

d) Hermoso ejercicio en el que sin fe en el todo poderoso Gauss sencillamente uno tira la toalla.

Sale por inducción:

Quiero ver que:

$$p(n) : 256 \mid 49^n + 208n - 1$$

O en notación de congruencia:

$$p(n) : 49^n + 208n - 1 \equiv 0 \pmod{256}$$

Caso base:

$$p(1) : 256 \mid 49^1 + 208 \cdot 1 - 1 \quad \checkmark$$

Por lo tanto  $p(1)$  resulta verdadera.

Paso inductivo:

Uso la notación de congruencia de acá en adelante, porque es mucho más cómodo. Supongo que:

$$p(k) : \underbrace{49^k + 208 \cdot k - 1 \equiv 0 \pmod{256}}_{\text{hipótesis inductiva}} \quad \forall k \in \mathbb{Z}$$

es una proposición verdadera. Entonces quiere probar que:

$$p(k+1) : 49^{k+1} + 208 \cdot (k+1) - 1 \equiv 0 \pmod{256},$$

también sea verdadera. Arranco del paso  $(k+1)$  y haciendo un poco de *matemagia*:

$$\begin{aligned} 49^{k+1} + 208 \cdot (k+1) - 1 &= 49 \cdot 49^k + 208k + 208 - 1 \stackrel{(256)}{\equiv} 49 \cdot (-208k + 1) + 208k + 208 - 1 \\ &\stackrel{(256)}{\equiv} 49 \cdot (48k + 1) - 48k - 48 - 1 = 2352k + 49 - 48k - 49 \\ &\stackrel{(256)}{\equiv} 48k + 49 - 48k - 49 = 0 \quad \checkmark \end{aligned}$$

En !! y gracias a Gauss  $2352 \equiv 48 \pmod{256}$  ¿Casualidad? No sé y no me importa.

Dado que  $49^{k+1} + 208 \cdot (k+1) - 1 \equiv 0 \pmod{256}$ , la proposición  $p(k+1)$  resultó verdadera.

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

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

👉 naD GarRaz 🐼

Algoritmo de División:

8. Calcular el cociente y el resto de la división de  $a$  por  $b$  en los casos:

a)  $a = 133, \quad b = -14.$

d)  $a = b^2 - 6, \quad b \neq 0.$

b)  $a = 13, \quad b = 111.$

e)  $a = n^2 + 5, \quad b = n + 2 \quad (n \in \mathbb{N}).$

c)  $a = 3b + 7, \quad b \neq 0.$

f)  $a = n + 3, \quad b = n^2 + 1 \quad (n \in \mathbb{N}).$

a)  $133 : (-14) \implies 133 = (-9) \cdot (-14) + 7$

b)

c)  $a = 3b + 7 \rightarrow$  me interesa:  $\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} |b| \leq |a| \quad \checkmark \\ 0 \leq r < |b| \quad \checkmark \end{array} \right\} \rightarrow$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Si: } |b| > 7 \rightarrow (q, r) = (3, 7) \\ \text{Si: } |b| \leq 7 \rightarrow (q, r) = (3, 7) \end{array} \right.$$

|          |             |             |            |            |           |     |
|----------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|-----|
| $(a, b)$ | $(-14, -7)$ | $(-11, -6)$ | $(-8, -5)$ | $(-5, -4)$ | $(4, -1)$ | ... |
| $(q, r)$ | $(2, 0)$    | $(2, 1)$    | $(2, 2)$   | $(2, 3)$   | $(4, 0)$  | ... |

d)  $a = b^2 - 6, \quad b \neq 0.$  🤖... hay que hacerlo! 🐼

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

9. Sabiendo que el resto de la división de un entero  $a$  por 18 es 5, calcular el resto de:

a) la división de  $a^2 - 3a + 11$  por 18.

b) la división de  $a$  por 3.

c) la división de  $4a + 1$  por 9.

d) la división de  $7a^2 + 12$  por 28.

$$a) \quad r_{18}(a) = r_{18}(\underbrace{r_{18}(a)^2}_{5^2} - \underbrace{r_{18}(3)}_3 \cdot \underbrace{r_{18}(a)}_5 + \underbrace{r_{18}(11)}_{11}) = r_{18}(21) = 3$$


---

$$b) \quad \left\{ \begin{array}{l} a = 3 \cdot q + r_3(a) \\ 6 \cdot a = 18 \cdot q + \underbrace{6 \cdot r_3(a)}_{r_{18}(6a)} \end{array} \right\} \rightarrow r_{18}(6a) = r_{18}(r_{18}(6) \cdot r_{18}(a)) = r_{18}(30) = 12$$

$$\Rightarrow 6 \cdot r_3(a) = r_{18}(6a) \rightarrow r_3(a) = 2$$


---


$$c) \quad r_9(4a + 1) = \underbrace{r_9(4 \cdot r_9(a) + 1)}_{*1} \rightarrow$$

$$a = 18 \cdot q + 5 = 9 \cdot \underbrace{(9 \cdot q)}_{q'} + \underbrace{5}_{r_9(a)} \xrightarrow{*1} r_9(a) = r_9(21) = 3$$

$$d) \quad r_{28}(7a^2 + 12) = r_{28}(7 \cdot r_{28}(a)^2 + 12) \xrightarrow{\text{¿qué es}} r_{28}(a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a = 18 \cdot q + 5 \xrightarrow[\text{para el 28}]{\text{busco algo}} \\ 14 \cdot a = \underbrace{252 \cdot q}_{28 \cdot 9 \cdot q} + 70 \xrightarrow[\text{condición resto}]{\text{corrijo según}} 28 \cdot 9 \cdot q + \underbrace{2 \cdot 28 + 14}_{70} = 28 \cdot (9 \cdot q + 2) + 14 \quad \checkmark \\ \xrightarrow[\text{tanto}]{\text{por lo}} 14a = 28 \cdot q' + 14 \Rightarrow 14 \cdot a \equiv 14 \pmod{28} \iff a \equiv 1 \pmod{28} \end{array} \right.$$

Ahora que sé que  $r_{28}(a) = 1$  sale que  $r_{28}(7a^2 + 12) = r_{28}(7 \cdot \underbrace{r_{28}(a)^2}_1 + 12) = r_{28}(19) = 19 \quad \checkmark$

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

 naD  GarRaz 

10.

- a) Si  $a \equiv 22 \pmod{14}$ , hallar el resto de dividir a  $a$  por 14, por 2 y por 7.
- b) Si  $a \equiv 13 \pmod{5}$ , hallar el resto de dividir a  $33a^3 + 3a^2 - 197a + 2$  por 5.
- c) Hallar, para cada  $n \in \mathbb{N}$ , el resto de la división de  $\sum_{i=1}^n (-1)^i \cdot i!$  por 12
- 

$$a) \quad \left\{ \begin{array}{l} a \equiv 22 \pmod{14} \rightarrow a = 14 \cdot q + \underbrace{22}_{14+8} = 14 \cdot (q+1) + 8 \xrightarrow[\text{es}]{\text{el resto}} r_{14}(a) = 8 \quad \checkmark \\ a \equiv 22 \pmod{14} \rightarrow a = \underbrace{14 \cdot q}_{2 \cdot (7 \cdot q)} + \underbrace{22}_{2 \cdot 11} = 2 \cdot (7q + 11) + 0 \xrightarrow[\text{es}]{\text{el resto}} r_2(a) = 0 \quad \checkmark \\ a \equiv 22 \pmod{14} \rightarrow a = \underbrace{14 \cdot q}_{7 \cdot (2 \cdot q)} + \underbrace{22}_{1+7 \cdot 3} = 7 \cdot (2q + 3) + 1 \xrightarrow[\text{es}]{\text{el resto}} r_7(a) = 1 \quad \checkmark \end{array} \right.$$

b) Dos números congruentes tienen el mismo resto.  $a \equiv 13 \pmod{5} \iff a \equiv 3 \pmod{5}$

$$r_5(33a^3 + 3a^2 - 197a + 2) = r_5(3 \cdot r_5(a)^3 + 3 \cdot r_5(a)^2 - 2 \cdot r_5(a) + 2)$$

como  $a \equiv 13 \pmod{5}$

$$\xrightarrow{r_5(a)=3} r_5(33a^3 + 3a^2 - 197a + 2) = 4$$

c)  ... hay que hacerlo! 

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

11.

- a) Probar que  $a^2 \equiv -1 \pmod{5} \iff a \equiv 2 \pmod{5} \vee a \equiv 3 \pmod{5}$
- b) Probar que no existe ningún entero  $a$  tal que  $a^3 \equiv -3 \pmod{7}$
- c) Probar que  $a^7 \equiv a \pmod{7} \forall a \in \mathbb{Z}$
- d) Probar que  $7 \mid a^2 + b^2 \iff 7 \mid a \wedge 7 \mid b$ .
- e) Probar que  $5 \mid a^2 + b^2 + 1 \implies 5 \mid a \text{ o } 5 \mid b$ . ¿Vale la implicación recíproca?

- a) Me piden que pruebe una congruencia es válida solo para ciertos  $a \in \mathbb{Z}$ . Pensado en términos de *restos* quiero que el resto al poner los  $a$  en cuestión cumplan la congruencia.

$$\left\{ \begin{array}{l} a^2 \equiv -1 \pmod{5} \iff a^2 \equiv 4 \pmod{5} \iff a^2 - 4 \equiv 0 \pmod{5} \iff (a-2) \cdot (a+2) \equiv 0 \pmod{5} \\ \xrightarrow[\text{resto } 0]{\text{quiero}} r_5(a^2 + 1) = r_5(a^2 - 4) = r_5(r_5(a-2) \cdot r_5(a+2)) = r_5((r_5(a)-2) \cdot (r_5(a)+2)) = 0 \\ r_5(a^2 + 1) = 0 \xrightarrow{\star^1} r_5((r_5(a)-2) \cdot (r_5(a)+2)) = 0 \left\{ \begin{array}{l} r_5(a) = 2 \iff a \equiv 2 \pmod{5} \checkmark \\ r_5(a) = -2 \iff a \equiv 3 \pmod{5} \checkmark \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Más aún:

Para una congruencia módulo 5 habrá solo 5 posibles restos, por lo tanto se pueden ver todos los casos haciendo una *table de restos*.

| $a$        | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------|---|---|---|---|---|
| $r_5(a)$   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $r_5(a^2)$ | 0 | 1 | 4 | 4 | 1 |

→ La tabla muestra que para un dado  $a$

$$\rightarrow r_5(a) = \left\{ \begin{array}{l} 2 \iff a \equiv 2 \pmod{5} \iff a^2 \equiv 4 \pmod{5} \iff a^2 \equiv -1 \pmod{5} \\ 3 \iff a \equiv 3 \pmod{5} \iff a^2 \equiv 4 \pmod{5} \iff a^2 \equiv -1 \pmod{5} \end{array} \right\}$$

- b) 🤖... hay que hacerlo! 🤖

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

- c) Me piden que exista una dada congruencia para todo  $a \in \mathbb{Z}$ . Eso equivale a probar a que al dividir el *lado izquierdo* entre el *divisor*, el *resto* sea lo que está en el *lado derecho* de la congruencia.

$$a^7 - a \equiv 0 \pmod{7} \iff a \cdot \underbrace{(a^6 - 1)}_{(a^3-1) \cdot (a^3+1)} \equiv 0 \pmod{7} \iff a \cdot (a^3 - 1) \cdot (a^3 + 1) \equiv 0 \pmod{7} \xrightarrow[\text{sus propiedades lineales}]{\text{tabla de restos con}}$$

| $a$            | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|
| $r_7(a)$       | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $r_7(a^3 - 1)$ | 6 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 | 5 |
| $r_7(a^3 + 1)$ | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 |

→ Cómo para todos los  $a$ , alguno de los factores del resto siempre se

anula, es decir:

$$r_7(a^7 - a) = r_7(r_7(a) \cdot r_7(a^3 - 1) \cdot r_7(a^3 + 1)) = 0 \quad \forall a \in \mathbb{Z}$$

d)

e)



## 12.

- (a) Probar que  $2^{5k} \equiv 1 \pmod{31}$  para todo  $k \in \mathbb{N}$ .
- (b) Hallar el resto de la división de  $2^{51833}$  por 31.
- (c) Sea  $k \in \mathbb{N}$ . Sabiendo que  $2^k \equiv 39 \pmod{31}$ , hallar el resto de la división de  $k$  por 5.
- (d) Hallar el resto de la división de  $43 \cdot 2^{163} + 11 \cdot 5^{221} + 61^{999}$  por 31.

- (a) Probémoslo por inducción.

Sea la proposición  $P(k) : 2^{5k} \equiv 1 \pmod{31}, \forall k \in \mathbb{N}$

• **Caso base:**  $P(1)$

$$P(1) : 2^{5 \cdot 1} \equiv 1 \pmod{31} \iff 32 \equiv 1 \pmod{31} \quad \checkmark$$

Luego,  $P(1)$  es verdadera.

• **Paso inductivo**  $P(k) \implies P(k+1)$

Asumiendo verdadero  $2^{5k} \equiv 1 \pmod{31}$ , queremos probar que  $2^{5(k+1)} \equiv 1 \pmod{31}$  es verdadero.

De la hipótesis inductiva tenemos que

$$2^{5k} \equiv 1 \pmod{31} \xrightarrow{32 \equiv 1 \pmod{31}} 2^{5k} \cdot 32 \equiv 1 \cdot 1 \pmod{31} \iff 2^{5k} \cdot 2^5 \equiv 1 \pmod{31} \iff 2^{5(k+1)} \equiv 1 \pmod{31} \quad \checkmark$$

Luego,  $P(k+1)$  es verdadera.

Como  $P(1)$  es verdadera y  $P(k) \implies P(k+1), \forall k \in \mathbb{N}$ , por el principio de inducción,  $P(k)$  es verdadera para todo  $k \in \mathbb{N}$

- (b) Queremos hallar el resto de la división de  $2^{51833}$  por 31, lo que es lo mismo que buscar a qué es congruente  $2^{51833}$  módulo 31.

Observemos que  $2^5 \equiv 1 \pmod{31}$ , con lo que dividiendo 51833 por 5, tenemos que  $51833 = 5 \cdot 10366 + 3$ . Luego

$$2^{51833} \equiv 2^{5 \cdot 10366 + 3} \equiv 2^{5 \cdot 10366} \cdot 2^3 \equiv (2^5)^{10366} \cdot 8 \equiv 1^{10366} \cdot 8 \equiv 8 \pmod{31}$$

Entonces,  $\boxed{r_{31}(2^{51833}) = 8}$

- (c) Como  $39 \equiv 8 \pmod{31}$ , tenemos que  $2^k \equiv 8 \pmod{31}$ . Busquemos ahora que valores puede tomar  $k$ .

Si van probando valores, van a darse cuenta que el 3, 8, 13, 18, ... funcionan, lo que nos permite conjeturar que  $k = 3 + 5q, q \in \mathbb{N}$ . Entonces podemos conjeturar que

$$2^k \equiv 8 \pmod{31} \iff k = 3 + 5q, q \in \mathbb{N}$$

Probemos la doble implicación.

•  $\Leftarrow$

Reemplazando  $k = 3 + 5q$ , tenemos que

$$2^k \equiv 2^{3+5q} \equiv 2^3 \cdot 2^{5q} \equiv 8 \cdot 32^q \equiv 8 \cdot 1^q \equiv 8 \pmod{31} \quad \checkmark$$

•  $\Rightarrow$

Tenemos que probar que  $k$  solo puede ser de la forma  $k = 3 + 5q$ . Para esto debemos verificar que si  $k$  es igual a  $c + 5q$ , con  $c \in \{0, 1, 2, 4\}$  entonces  $2^k \not\equiv 8 \pmod{31}$ . Pues así estaríamos viendo todas las posibilidades. Reemplacemos entonces  $k = c + 5q$ :

$$2^k \equiv 2^{c+5q} \equiv 2^c \cdot 2^{5q} \equiv 2^c \cdot 32^q \equiv 2^c \cdot 1^q \equiv 2^c \pmod{31}$$

Veamos ahora los valores de  $c$

$$c = 0 \rightarrow 2^k \equiv 2^0 \equiv 1 \not\equiv 8 \pmod{31}$$

$$c = 1 \rightarrow 2^k \equiv 2^1 \equiv 2 \not\equiv 8 \pmod{31}$$

$$c = 2 \rightarrow 2^k \equiv 2^2 \equiv 4 \not\equiv 8 \pmod{31}$$

$$c = 4 \rightarrow 2^k \equiv 2^4 \equiv 16 \not\equiv 8 \pmod{31}$$

Dado que ninguno es congruente a 8 módulo 31, llegamos a la conclusión de que los únicos valores que puede tomar  $k$  son los de la forma  $k = 3 + 5q$ ,  $q \in \mathbb{N}$ .

Por último, dado que  $k = 3 + 5q$ , es evidente que  $3 + 5q \equiv 3 \pmod{5}$ . Entonces  $r_5(k) = 3$

(d) Reduzcamos cada término módulo 31.

Es fundamental notar que  $2^5 \equiv 1 \pmod{31}$ , que  $5^3 \equiv 1 \pmod{31}$  y que  $61 \equiv -1 \pmod{31}$

Entonces

$$43 \equiv 12 \pmod{31}$$

$$2^{163} \equiv 2^{5 \cdot 32 + 3} \equiv (2^5)^{32} \cdot 2^3 \equiv 1 \cdot 8 \equiv 8 \pmod{31}$$


$$5^{221} \equiv 5^{3 \cdot 73 + 2} \equiv (5^3)^{73} \cdot 5^2 \equiv 1 \cdot 25 \equiv 25 \pmod{31}$$

$$61^{999} \equiv (-1)^{999} \equiv -1 \pmod{31}$$

Juntando todo

$$43 \cdot 2^{163} + 11 \cdot 5^{221} + 61^{999} \equiv 12 \cdot 8 + 11 \cdot 25 - 1 \equiv 370 \equiv 29 \pmod{31}$$

$$\text{Luego, } r_{31}(43 \cdot 2^{163} + 11 \cdot 5^{221} + 61^{999}) = 29$$

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

 Nunezca 



**13.** Se define por recurrencia la sucesión  $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$ :

$$a_1 = 3, \quad a_2 = -5 \quad \text{y} \quad a_{n+2} = a_{n+1} - 6^{2n} \cdot a_n + 21^n \cdot n^{21}, \text{ para todo } n \in \mathbb{N}.$$

Probar que  $a_n \equiv 3^n \pmod{7}$  para todo  $n \in \mathbb{N}$ .

La infumabilidad de esos números me obliga a atacar a esto con el resto e inducción.

$$r_7(a_{n+2}) = r_7(r_7(a_{n+1}) - \underbrace{r_7(36)^n}_{\equiv 1} \cdot r_7(a_n) + \underbrace{r_7(21)^n}_{\equiv 0} \cdot r_7(n^{21})) = \underbrace{r_7(a_{n+2})}_{\star^1} = r_7(a_{n+1}) - r_7(a_n) \quad \checkmark$$

 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](#) 

Puesto de otra forma  $a_{n+2} \equiv a_{n+1} - a_n \pmod{7} \rightarrow \begin{cases} a_1 \equiv 3^1 \pmod{7} \iff a_1 \equiv 3 \pmod{7} \\ a_2 \equiv 3^2 \pmod{7} \iff a_2 \equiv 2 \pmod{7} \\ a_3 \equiv 3^3 \pmod{7} \iff a_3 \equiv 6 \pmod{7} \end{cases}$

Quiero probar que  $a_n \equiv 3^n \pmod{7} \rightarrow$  inducción completa:


$p(n) : a_n \equiv 3^n \pmod{7} \quad \forall n \in \mathbb{N}$

*Casos base:*  $\begin{cases} p(1) : a_1 \equiv 3^1 \pmod{7} \quad \checkmark, \quad p(1) \text{ es verdadera} \\ p(2) : a_2 \equiv 3^2 \pmod{7} \stackrel{(7)}{\equiv} 2 \stackrel{(7)}{\equiv} -5 \quad \checkmark, \quad p(2) \text{ es verdadera} \end{cases}$

*Paso Inductivo:*  $\begin{cases} p(k) : a_k \equiv 3^k \pmod{7} \quad \checkmark, \quad p(k) \text{ la asumo verdadera} \\ y \\ p(k+1) : a_{k+1} \equiv 3^{k+1} \pmod{7} \quad \checkmark, \quad p(k+1) \text{ también asumo verdadera} \\ \implies p(k+2) : a_{k+2} \equiv 3^{k+2} \pmod{7} \text{ quiero probar que es verdadera} \end{cases}$

*Hipótesis inductiva:*  $\begin{cases} a_k \equiv 3^k \pmod{7} \\ a_{k+1} \equiv 3^{k+1} \pmod{7} \\ \xrightarrow{\text{sumo}} a_{k+2} = a_{k+1} - a_k \equiv 3^{k+1} - 3^k = 2 \cdot 3^k \stackrel{(7)}{\equiv} 9 \cdot 3^k = 3^{k+2} \pmod{7} \quad \checkmark \\ \star^1 \\ p(k+2) \text{ resultó ser verdadera.} \end{cases}$

Concluyendo como  $p(1), p(2), p(k), p(k+1)$  y  $p(k+2)$  resultaron 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:

 naD  GarRaz 

14.

(a) Hallar el desarrollo en base 2 de

i. 1365

ii. 2800

iii.  $3 \cdot 2^{12}$

iv.  $13 \cdot 2^n + 5 \cdot 2^{n-1}$

(b) Hallar el desarrollo en base 16 de 2800.

 ... hay que hacerlo! 

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

15.  ... hay que hacerlo! 

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

16. Enunciar y demostrar criterios de divisibilidad por 8 y por 9.

### • Criterio de divisibilidad por 8:

Sea  $a = (r_n r_{n-1} \dots r_3 r_2 r_1 r_0)_{10}$  el desarrollo decimal de  $a$ , con  $0 \leq r_k \leq 9$ . Entonces

$$8 \mid a \iff 8 \mid (r_2 r_1 r_0)_{10}$$

Es decir,  $a$  es divisible por 8 si y solo si el número formado por las 3 últimas cifras de  $a$  es divisible por 8.

### Demostración:

Observemos que  $10^3 \equiv 0 \pmod{8}$ . Probemos entonces por inducción que  $P(m) : 10^m \equiv 0 \pmod{8}, m \geq 3$

– **Caso Base:**  $P(3)$

$$10^3 \equiv 0 \pmod{8} \quad \checkmark$$

– **Paso inductivo:**  $P(m) \implies P(m+1)$

$$10^{m+1} \equiv 10^m \cdot 10 \stackrel{(\text{HI})}{\equiv} 0 \cdot 10 \equiv 0 \pmod{8}$$

Entonces,  $P(m)$  es verdadera para todo  $m \geq 3$

Luego, como  $a = 10^n r_n + 10^{n-1} r_{n-1} + \dots + 10^3 r_3 + 10^2 r_2 + 10 r_1 + r_0$ , tomando congruencia módulo 8 tenemos que

$$a = 10^n r_n + 10^{n-1} r_{n-1} + \dots + 10^3 r_3 + 10^2 r_2 + 10 r_1 + r_0 \equiv 0 + 0 + \dots + 0 + 10^2 r_2 + 10 r_1 + r_0 \pmod{8}$$

Luego,

$$8 \mid a \iff a \equiv 0 \pmod{8} \iff 10^2 r_2 + 10 r_1 + r_0 \equiv 0 \pmod{8} \iff (r_2 r_1 r_0)_{10} \equiv 0 \pmod{8} \iff 8 \mid (r_2 r_1 r_0)_{10}$$

### • Criterio de divisibilidad por 9:

Sea  $a = (r_n r_{n-1} \dots r_1 r_0)_{10}$  el desarrollo decimal de  $a$ , con  $0 \leq r_k \leq 9$ . Entonces

$$9 \mid a \iff 9 \mid r_n + r_{n-1} + \dots + r_1 + r_0$$

Es decir,  $a$  es divisible por 9 si y solo si la suma de los dígitos de  $a$  es divisible por 9.

#### **Demostración:**

Observemos que  $10 \equiv 1 \pmod{9}$ , con lo que  $10^m \equiv 1 \pmod{9}$ ,  $m \in \mathbb{N}_0$

Luego, como  $a = 10^n r_n + 10^{n-1} r_{n-1} + \dots + 10 r_1 + r_0$ , tomando congruencia módulo 9 tenemos que

$$a = 10^n r_n + 10^{n-1} r_{n-1} + \dots + 10 r_1 + r_0 \equiv r_n + r_{n-1} + \dots + r_1 + r_0 \pmod{9}$$

Luego,

$$9 \mid a \iff a \equiv 0 \pmod{9} \iff r_n + r_{n-1} + \dots + r_1 + r_0 \equiv 0 \pmod{9} \iff 9 \mid r_n + r_{n-1} + \dots + r_1 + r_0$$

### 17. 🤖... hay que hacerlo! 🤖

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

Máximo común divisor:

18. En cada uno de los siguientes casos calcular el máximo común divisor entre  $a$  y  $b$  y escribirlo como combinación lineal entera de  $a$  y  $b$ :

i)  $a = 2532$ ,  $b = 63$ .

ii)  $a = 131$ ,  $b = 23$ .



iii)  $a = n^4 - 3$ ,  $b = n^2 + 2$  ( $n \in \mathbb{N}$ ).

---

Hacer!

### 19. 🤖... hay que hacerlo! 🤖

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

 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](#) ↑

20. Sea  $a \in \mathbb{Z}$ .

- a) Probar que  $(5a+8 : 7a+3) = 1$  o 41. Exhibir un valor de  $a$  para el cual da 1, y verificar que efectivamente para  $a = 23$  da 41.
- b) Probar que  $(2a^2+3a : 5a+6) = 1$  o 43. Exhibir un valor de  $a$  para el cual da 1, y verificar que efectivamente para  $a = 16$  da 43
- c) Probar que  $(a^2 - 3a + 2 : 3a^3 - 5a^2) = 2$  o 4, y exhibir un valor de  $a$  para cada caso.  
(Para este ítem es **indispensable** mostrar que el máximo común divisor nunca puede ser 1).

i) 🚫... hay que hacerlo! 🚫

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

ii) 🚫... hay que hacerlo! 🚫

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

$$\text{iii) } (a^2 - 3a + 2 : 3a^3 - 5a^2) \xrightarrow{\text{Euclides}} (\underbrace{a^2 - 3a + 2}_{\star^1 \text{par}} : \underbrace{6a - 8}_{\star^1 \text{par}})$$

$$\xrightarrow[\text{divisor}]{\text{busco}} \left\{ \begin{array}{l} d \mid a^2 - 3a + 2 \\ d \mid 6a - 8 \end{array} \right\} \xrightarrow[\times a]{\times 6} \left\{ \begin{array}{l} d \mid 10a - 12 \\ d \mid 6a - 8 \end{array} \right\} \xrightarrow[\times 10]{\times 6} \{ d \mid 8 \} \rightarrow \mathcal{D}_+(8) = \{1, 2, 4, 8\} \star^1 = \{2, 4, 8\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a = 1 \quad (0 : -2) = 2 \\ a = 2 \quad (0 : 4) = 4 \end{array} \right.$$

Parecido al hecho en clase.

¿Qué onda el 8? Hice mal cuentas? Si no, cómo lo descarto?

21. Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  coprimos. Probar que  $7a - 3b$  y  $2a - b$  son coprimos.

$$\left\{ \begin{array}{l} d \mid 7a - 3b \xrightarrow{-2} d \mid b \rightarrow d \mid b \\ d \mid 2a - b \xrightarrow{-7} d \mid 2a - b \rightarrow d \mid a \end{array} \right\} \xrightarrow[\text{divisor y (a:b)}]{\text{propiedad}} d \mid (a : b) \xrightarrow[\text{coprimos}]{(a : b)} d \mid 1$$

Por lo tanto  $(7a - 3b : 2a - b) = 1$  son coprimos como se quería mostrar.

22. 🚫... hay que hacerlo! 🚫

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

23.

- a) Determinar todos los  $a, b \in \mathbb{Z}$  coprimos tales que  $\frac{b+4}{a} + \frac{5}{b} \in \mathbb{Z}$ .
- b) Determinar todos los  $a, b \in \mathbb{Z}$  coprimos tales que  $\frac{9a}{b} + \frac{7a^2}{b^2} \in \mathbb{Z}$ .
- c) Determinar todos los  $a, b \in \mathbb{Z}$  tales que  $\frac{2a+3}{a+1} + \frac{a+2}{4} \in \mathbb{Z}$ .

a) Acomodo el enunciado como:

$$\frac{b+4}{a} + \frac{5}{b} = \frac{b^2 + 4b + 5a}{ab}$$

Quiero que esa fracción sea entera, lo cual es lo mismo que decir:

$$ab \mid b^2 + 4b + 5a$$

Dado que  $a \perp b$ :

$$\begin{cases} a|b^2 + 4b + 5a \\ b|b^2 + 4b + 5a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a|b^2 + 4b \\ b|5a \end{cases} \xrightarrow[b \text{ debe dividir a } 5]{\text{sé que } b \nmid a} \begin{cases} a|b \cdot (b+4) \star^1 \\ b|5 \end{cases}$$

Sale que:

$$b \in \{\pm 1, \pm 5\}$$

Puedo entonces probar valores de  $b$  y así ver que valor de  $a$  queda:

Si  $b = 1$

$$\star^1 a|5 \Rightarrow (a, b) = \begin{cases} (\pm 1, 1) \\ (\pm 5, 1) \end{cases}$$

Si  $b = -1$

$$\star^1 a|-3 \Rightarrow (a, b) = \begin{cases} (\pm 1, -1) \\ (\pm 3, -1) \end{cases}$$

Si  $b = 5$

$$\star^1 a|45 \Rightarrow (a, b) \stackrel{!!}{=} \begin{cases} (\pm 1, 5) \\ (\pm 3, 5) \\ (\pm 9, 5) \end{cases}$$

Si  $b = -5$

$$\star^1 a|5 \Rightarrow (a, b) \stackrel{!!}{=} \{ (\pm 1, 5) \}$$

En el  $!!$  se usa que  $a \perp b$

b) Acomodo el enunciado sacando denominador común:

$$\frac{9a}{b} + \frac{7a^2}{b^2} = \frac{9ab + 7a^2}{b^2}$$

Quiero que esa fracción sea entera, lo cual es lo mismo que decir:

$$b^2 | 9ab + 7a^2 \stackrel{!!!}{\Rightarrow} b | 9ab + 7a^2 \Leftrightarrow b | 7a^2 \xleftrightarrow[b=7]{a \perp b} b | 7$$

Sale que:

$$b \in \{\pm 1, \pm 7\}$$

Puedo entonces probar valores de  $b$  y así ver que valor de  $a$  queda:

Si  $b = \pm 1$ :

$$\frac{\pm 9a + 7a^2}{1} \in \mathbb{Z} \quad \forall a \in \mathbb{Z} \Rightarrow (a, b) = (a, \pm 1)$$

Si  $b = 7$ :

$$\frac{9a \cdot 7 + 7a^2}{49} = \frac{9a + a^2}{7}$$

Esto último va a ocurrir cuando:

$$a^2 + 9a \equiv 0 \pmod{7} \Leftrightarrow a \cdot (a+2) \equiv 0 \pmod{7} \xleftrightarrow[b=7]{a \perp 7} a+2 \equiv 0 \pmod{7} \Leftrightarrow a \equiv 5 \pmod{7}$$

Los pares  $(a, b)$  para satisfacer lo pedido son de la forma:

$$(a, b) = (a, 7) \quad \text{con} \quad a \equiv 5 \pmod{7}$$

Si  $b = -7$ : El desarrollo es igual que para el caso anterior y los pares quedan:

$$(a, b) = (a, -7) \quad \text{con} \quad a \equiv 2 \pmod{7}$$

c)

$$\frac{2a+3}{a+1} + \frac{a+2}{4} = \frac{a^2+11a+14}{4a+4} \star^1$$

Para que  $\frac{a^2+11a+14}{4a+4} \in \mathbb{Z}$  debe ocurrir que

$$4a+4 \mid a^2+11a+14$$

Busco eliminar la  $a$  del lado derecho:

$$\left\{ \begin{array}{l} 4a+4 \mid a^2+11a+14 \\ 4a+4 \mid 4a+4 \end{array} \right. \xrightarrow{!} \left\{ \begin{array}{l} 4a+4 \mid 16 \\ 4a+4 \mid 4a+4 \end{array} \right.$$


Las cuentas del **!** te las dejo a vos.

$4a+4$  tiene que dividir a 16, por lo tanto mis posibles valores serán  $\{\pm 1, \pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16\}$ .

Teniendo en cuenta que  $4a+4 \in \mathbb{Z}$  y también que  $a \in \mathbb{Z}$ , quedan como únicos posibles valores:

$$\begin{aligned} 4(-5) + 4 &= -16 \quad \checkmark \\ 4(-2) + 4 &= -4 \quad \checkmark \end{aligned}$$

reemplazando esos valores de  $a$  en  $\star^1$  se obtiene tiene valor  $-1 \in \mathbb{Z}$ .

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

**24.** Probar que existen infinitos primos positivos congruentes a 3 módulo 4.

*Sugerencia:* probar primero que si  $a \in \mathbb{N}$  satisface  $a \equiv 3 \pmod{4}$ , entonces existe  $p$  primo con  $p \equiv 3 \pmod{4}$  tal que  $p \mid a$ . Luego probar que si existieran sólo finitos primos congruentes a 3 módulo 4, digamos  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , entonces

$a = -1 + 4 \prod_{i=1}^n p_i$  sería mayor que 1 y no es divisible por ningún primo congruente a 3 módulo 4.

Comencemos probando la primera parte de la sugerencia:

$$\text{Dado } a \in \mathbb{N}, a \equiv 3 \pmod{4} \implies \exists p \text{ primo con } p \equiv 3 \pmod{4} \text{ tal que } p \mid a$$

Como  $a \equiv 3 \pmod{4} \iff a = 4k + 3$  y dado que  $a \in \mathbb{N}$ , es evidente que  $a > 1$ . Luego sabemos que  $\exists p$  primo tal que  $p \mid a$ . Ahora debemos ver que  $p \equiv 3 \pmod{4}$ . Para esto, apliquemos el TFA:

$$a = (P_1)^{n_1} \cdot (P_2)^{n_2} \cdots (P_r)^{n_r}, \quad n_1, n_2, \dots, n_r \in \mathbb{N}$$

Notemos ahora que ninguno de los primos en la factorización de  $a$  puede ser 2, pues  $a = 4k + 3 = 2(2k + 1) + 1$  es impar. Esto nos descarta que  $p \equiv 0 \pmod{4}$  o que  $p \equiv 2 \pmod{4}$ , pues el único primo que cumple alguna es el 2. De modo que nos quedan dos opciones:

$$p \equiv 1 \pmod{4} \quad \text{o} \quad p \equiv 3 \pmod{4}$$

Prestemos atención a lo siguiente. Si todos los primos en la factorización de  $a$  fueran congruentes a 1 módulo 4, esto es

$$P_1 \equiv 1 \pmod{4}, P_2 \equiv 1 \pmod{4}, \dots, P_r \equiv 1 \pmod{4} \implies (P_1)^{n_1} \equiv 1 \pmod{4}, (P_2)^{n_2} \equiv 1 \pmod{4}, \dots, (P_r)^{n_r} \equiv 1 \pmod{4}$$

tendríamos que

$$a = (P_1)^{n_1} \cdot (P_2)^{n_2} \cdots (P_r)^{n_r} \equiv 1 \pmod{4}$$

lo cual contradice nuestra hipótesis de que  $a \equiv 3 \pmod{4}$ .

Así, probamos que al menos debe existir un  $p$  en la factorización de  $a$  (esto asegura que  $p \mid a$ ), que cumpla que  $p \equiv 3 \pmod{4}$  si es que tenemos que  $a \equiv 3 \pmod{4}$ , que era lo que queríamos probar.


Veamos ahora la segunda parte de la sugerencia (no voy a probar eso exactamente, pero es parecido).

Supongamos que existen finitos primos congruentes a 3 módulo 4, digamos  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . Esto nos permite definir  $a$  como  $a = -1 + 4 \prod_{i=1}^n p_i$ . Notemos que como  $a \in \mathbb{N}$ ,  $a > 1$  y  $a \equiv 3 \pmod{4}$ , podemos aplicar lo que probamos en la primera parte. Esto es: existe  $p$  primo con  $p \equiv 3 \pmod{4}$  tal que  $p \mid a$ . Notemos que este  $p$  debe ser alguno de los  $p_i$ . Luego

$$\begin{cases} p_i \mid -1 + 4 \prod_{i=1}^n p_i \\ p_i \mid 4 \prod_{i=1}^n p_i \end{cases} \xrightarrow{F_2 - F_1} p_i \mid 1$$

Lo cual es absurdo. Esta contradicción proviene de la única suposición que hicimos, que existen finitos primos congruentes a 3 módulo 4.

Luego, existen infinitos primos congruentes a 3 módulo 4, que era lo que queríamos probar.

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

 Nunezca 

**25.** Sea  $p$  primo positivo.

- (a) Probar que si  $0 < k < p$ , entonces  $p \nmid \binom{p}{k}$ .
- (b) Probar que si  $a, b \in \mathbb{Z}$ , entonces  $(a + b)^p \equiv a^p + b^p \pmod{p}$ .

- (a) Como  $0 < k < p$ , tenemos que  $p \nmid k!$  y que  $p \nmid (p - k)!$ , pues  $p$  es primo y no divide a ningún factor de ambos números. Por la misma razón, se tiene que  $\star^1 p \nmid k!(p - k)!$ . Entonces

$$\frac{p!}{k!(p - k)!} = \binom{p}{k} \Leftrightarrow p! = \binom{p}{k} \cdot k!(p - k)! \Leftrightarrow p(p - 1)! = \binom{p}{k} \cdot k!(p - k)! \xrightarrow[\text{!!}]{(p - 1)! \in \mathbb{Z}} p \mid \binom{p}{k} \cdot k!(p - k)!$$

$$p \mid \binom{p}{k} \cdot k!(p - k)! \xleftrightarrow[\star^1 p \nmid k!(p - k)!]{p \text{ primo}} p \mid \binom{p}{k} \quad \checkmark$$

- (b) Usando el binomio de Newton, tenemos que

$$(a + b)^p = \sum_{k=0}^p \binom{p}{k} \cdot a^k \cdot b^{p-k} = a^p + b^p + \sum_{k=1}^{p-1} \binom{p}{k} \cdot a^k \cdot b^{p-k}$$


Como en la nueva sumatoria tenemos que  $0 < k < p$ , podemos aplicar lo probado en el inciso (a), obteniendo que

$$\sum_{k=1}^{p-1} \binom{p}{k} \cdot a^k \cdot b^{p-k} \equiv 0 \pmod{p}$$

Ahora solo queda juntar todo

$$(a + b)^p = a^p + b^p + \sum_{k=1}^{p-1} \binom{p}{k} \cdot a^k \cdot b^{p-k} \equiv a^p + b^p \pmod{p} \quad \checkmark$$



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

 Nunezca 

 naD GarRaz 

**26.** Decidir si existen enteros  $a$  y  $b$  no nulos que satisfagan

a)  $a^2 = 3b^3$

b)  $7a^2 = 8b^2$

a) Observando que hay un 3 del lado derecho, a ojo se puede ver que, por ejemplo,  $(a, b) = (3^2, 3)$  cumple.

b) A simple vista, no parece haber una solución obvia. Veamos la factorización en primos para ver si encontramos una contradicción.

Por TFA, se tiene que

$$\begin{cases} a = (P_1)^{m_1} \dots (P_r)^{m_r}, & m_1, \dots, m_r \in \mathbb{N}_0 \\ b = (P_1)^{n_1} \dots (P_r)^{n_r}, & n_1, \dots, n_r \in \mathbb{N}_0 \end{cases} \implies \begin{cases} a^2 = (P_1)^{2m_1} \dots (P_r)^{2m_r} \\ b^2 = (P_1)^{2n_1} \dots (P_r)^{2n_r} \end{cases}$$

Entonces

$$7a^2 = 8b^2 \iff 7^1 \cdot (P_1)^{2m_1} \dots (P_r)^{2m_r} = 2^3 \cdot (P_1)^{2n_1} \dots (P_r)^{2n_r}$$

Del lado izquierdo de la igualdad, el 7 aparece con el exponente  $2m_7 + 1$ .


Del lado derecho de la igualdad, el 7 aparece con el exponente  $2n_7$ .

Entonces, por unicidad de la factorización, se debería tener que

$$2m_7 + 1 = 2n_7$$

Lo cual es absurdo, pues un número es impar y el otro par.

Luego,  $\nexists a, b \in \mathbb{Z}$  no nulos tal que  $7a^2 = 8b^2$

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

 Nunezca 

**27.** Sea  $n \in \mathbb{N}, n \geq 2$ . Probar que si  $p$  es un número primo positivo entonces  $\sqrt[n]{p} \notin \mathbb{Q}$ .

Supongamos que  $\sqrt[n]{p} \in \mathbb{Q}$  y lleguemos a una contradicción.

$$\sqrt[n]{p} \in \mathbb{Q} \implies \sqrt[n]{p} = \frac{a}{b}, \quad a, b \in \mathbb{Z} \quad \text{y} \quad b \neq 0$$

Tomemos  $\frac{a}{b}$  como una fracción irreducible, es decir, con  $a$  y  $b$  coprimos.

Luego,

$$\sqrt[n]{p} = \frac{a}{b} \implies b \cdot \sqrt[n]{p} = a \implies b^n \cdot p = a^n \implies p \mid a^n \xrightarrow{p \text{ primo}} p \mid a$$

Como  $p \mid a$ , entonces  $a = p \cdot k$ ,  $k \in \mathbb{Z}$ . Reemplazando, tenemos que

$$b^n \cdot p = a^n \implies b^n \cdot p = (p \cdot k)^n \implies b^n \cdot p = p^n \cdot k^n \xrightarrow{!!} b^n = p^{n-1} \cdot k^n \xrightarrow{!!!} b^n = p \cdot p^{n-2} \cdot k^n \implies p \mid b^n \xrightarrow{p \text{ primo}} p \mid b$$

El paso en **!!** tiene sentido porque  $n \in \mathbb{N}$  y en **!!!** porque  $n \geq 2$ . Esto asegura que las expresiones  $p^{n-1}$  y  $p^{n-2}$  pertenezcan  $\mathbb{N}_0$ .

Así, obtuvimos que  $p \mid a$  y  $p \mid b$ , lo cual contradice el hecho que  $a$  y  $b$  son coprimos. La contradicción proviene de la única suposición que hicimos, que  $\sqrt[n]{p} \in \mathbb{Q}$ . Luego,  $\sqrt[n]{p} \notin \mathbb{Q}$ , tal como queríamos probar.

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

👤 Nunezca 🔄

28. Sean  $p$  y  $q$  primos positivos distintos. Probar que  $p^{113} \cdot q^{201} \mid a^{378}$  si y sólo si  $pq \mid a$ .

Antes de empezar, notemos que como  $p \neq q$  y ambos son primos, se tiene que  $(p : q) = 1$

$$\bullet p^{113} \cdot q^{201} \mid a^{378} \implies pq \mid a.$$

$$p^{113} \cdot q^{201} \mid a^{378} \iff a^{378} = p^{113} \cdot q^{201} \cdot k, \quad k \in \mathbb{Z} \implies \begin{cases} p \mid a^{378} \xrightarrow{p \text{ primo}} p \mid a \\ q \mid a^{378} \xrightarrow{q \text{ primo}} q \mid a \end{cases} \xrightarrow{(p : q) = 1} pq \mid a \quad \checkmark$$

$$\bullet pq \mid a \implies p^{113} \cdot q^{201} \mid a^{378}$$

$$pq \mid a \iff a = pq \cdot k, \quad k \in \mathbb{Z} \implies a^{378} = p^{378} \cdot q^{378} \cdot k^{378} \iff a^{378} = p^{113} \cdot q^{201} (p^{265} \cdot q^{177} \cdot k^{378})$$

$$\xrightarrow{(p^{265} \cdot q^{177} \cdot k^{378}) \in \mathbb{Z}} p^{113} \cdot q^{201} \mid a^{378} \quad \checkmark$$

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

👤 Nunezca 🔄

29. Determinar cuántos divisores positivos tiene  $9000$ ,  $15^4 \cdot 42^3 \cdot 56^5$  y  $10^n \cdot 11^{n+1}$ . ¿Y cuántos divisores en total?

Lo único que hay que hacer en este ejercicio es factorizar en primos cada número y utilizar la formula de cantidad de divisores (poco interesante).

$$\bullet 9000$$

$$9000 = 2^3 \cdot 3^2 \cdot 5^3 \implies \begin{cases} \#Div_+(9000) = (3+1)(2+1)(3+1) = \boxed{48} \\ \#Div(9000) = 2 \cdot 48 = \boxed{96} \end{cases}$$

$$\bullet 15^4 \cdot 42^3 \cdot 56^5$$

$$15^4 \cdot 42^3 \cdot 56^5 = 2^{18} \cdot 3^7 \cdot 5^4 \cdot 7^8 \implies \begin{cases} \#Div_+(15^4 \cdot 42^3 \cdot 56^5) = (18+1)(7+1)(4+1)(8+1) = \boxed{6840} \\ \#Div(15^4 \cdot 42^3 \cdot 56^5) = 2 \cdot 6840 = \boxed{13680} \end{cases}$$

$$\bullet 10^n \cdot 11^{n+1}$$

$$10^n \cdot 11^{n+1} = 2^n \cdot 5^n \cdot 11^{n+1} \implies \begin{cases} \#Div_+(10^n \cdot 11^{n+1}) = (n+1)(n+1)(n+1+1) = \boxed{(n+2)(n+1)^2} \\ \#Div(10^n \cdot 11^{n+1}) = \boxed{2(n+2)(n+1)^2} \end{cases}$$

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

👤 Nunezca 🔄

30. Hallar la suma de los divisores positivos de  $2^4 \cdot 5^{123}$  y de  $10^n \cdot 11^{n+1}$ .

- $2^4 \cdot 5^{123}$

Sabemos que  $\text{Div}_+(2^4 \cdot 5^{123}) = \{2^i \cdot 5^j, 0 \leq i \leq 4 \text{ y } 0 \leq j \leq 123\}$

Entonces, la suma de los divisores será igual a:

$$\sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^{123} 2^i \cdot 5^j = \left( \sum_{i=0}^4 2^i \right) \cdot \left( \sum_{j=0}^{123} 5^j \right) = \left( \frac{1-2^{4+1}}{1-2} \right) \cdot \left( \frac{1-5^{123+1}}{1-5} \right) = \boxed{\frac{31}{4}(5^{124} - 1)}$$

- $10^n \cdot 11^{n+1}$

$$10^n \cdot 11^{n+1} = 2^n \cdot 5^n \cdot 11^{n+1}$$

Sabemos que  $\text{Div}_+(10^n \cdot 11^{n+1}) = \{2^i \cdot 5^j \cdot 11^k, 0 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq n \text{ y } 0 \leq k \leq n+1\}$

Entonces, la suma de los divisores será igual a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^{n+1} 2^i \cdot 5^j \cdot 11^k &= \left( \sum_{i=0}^n 2^i \right) \cdot \left( \sum_{j=0}^n 5^j \right) \cdot \left( \sum_{k=0}^{n+1} 11^k \right) = \left( \frac{1-2^{n+1}}{1-2} \right) \cdot \left( \frac{1-5^{n+1}}{1-5} \right) \cdot \left( \frac{1-11^{n+1+1}}{1-11} \right) = \\ &= \boxed{\frac{1}{40}(2^{n+1} - 1)(5^{n+1} - 1)(11^{n+2} - 1)} \end{aligned}$$

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

👉 Nunezca 🍷

**31.** Hallar el menor número natural  $n$  tal que  $6552n$  sea un cuadrado, es decir, que exista  $k \in \mathbb{N}$  tal que  $6552n = k^2$ .

Como  $k \in \mathbb{N}$  y como claramente  $k \neq 1$ , por TFA, se tiene que

$$k = (P_1)^{m_1} \cdot (P_2)^{m_2} \cdots (P_r)^{m_r}, m_1, m_2, \dots, m_r \in \mathbb{N} \implies k^2 = (P_1)^{2m_1} \cdot (P_2)^{2m_2} \cdots (P_r)^{2m_r}$$

Entonces

$$6552n = k^2 \iff 2^3 \cdot 3^2 \cdot 7 \cdot 13 \cdot n = (P_1)^{2m_1} \cdot (P_2)^{2m_2} \cdots (P_r)^{2m_r}$$

Esto nos dice que todos los primos del lado izquierdo de la igualdad deben estar elevados a un número de la forma  $2k$ ,  $k \in \mathbb{N}$ .

Para lograr esto, notemos que es necesario que  $n$  contenga en su factorización un 2, un 7 y un 13 y como nos piden el menor  $n$ , esto resulta suficiente.

$$\text{Luego, } n = 2 \cdot 7 \cdot 13 = \boxed{182}$$

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

👉 Nunezca 🍷

**32.** Sean  $a, b \in \mathbb{N}, a, b \geq 2$ . Probar que si  $ab$  es un cuadrado en  $\mathbb{N}$  y  $(a : b) = 1$ , entonces, tanto  $a$  como  $b$  son cuadrados en  $\mathbb{N}$ .

$$ab \text{ es un cuadrado en } \mathbb{N} \iff ab = k^2, k \in \mathbb{N}$$

Esto implica que todos los primos en la factorización de  $ab$  son de la forma  $2q$ , con  $q \in \mathbb{N}$ . Es decir

$$ab = (P_1)^{2n_1} \cdots (P_r)^{2n_r}, n_1, \dots, n_r \in \mathbb{N}$$

Luego, usando que  $(a : b) = 1$ , se tiene que  $a$  y  $b$  no poseen primos en común, de modo que cada primo con su respectivo exponente de  $ab$  esta en la factorización de  $a$  o de  $b$ , pero no en ambas.

Entonces, podemos escribir a ambos números en su factorización correspondiente:

$$a = (Q_1)^{2m_1} \dots (Q_t)^{2m_t}, \quad m_1, \dots, m_t \in \mathbb{N}$$

$$b = (S_1)^{2l_1} \dots (S_c)^{2l_c}, \quad l_1, \dots, l_c \in \mathbb{N}$$

De esta manera

$$\exists k_1, k_2 \in \mathbb{N} \text{ con } \begin{cases} k_1 = (Q_1)^{m_1} \dots (Q_t)^{m_t} \\ k_2 = (S_1)^{l_1} \dots (S_c)^{l_c} \end{cases} \text{ tal que } \begin{cases} a = (k_1)^2 \\ b = (k_2)^2 \end{cases}$$

Esto precisamente quiere decir que  $a$  y  $b$  son cuadrados en  $\mathbb{N}$ , que era lo que queríamos probar.

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

 Nunezca 

**33.** Hallar todos los  $n \in \mathbb{N}$  tales que

(a)  $(n : 945) = 63$ ,  $(n : 1176) = 84$  y  $n \leq 2800$

(b)  $(n : 1260) = 70$  y  $n$  tiene 30 divisores positivos.

(a) Trabajemos con la primera condición

$$(n : 945) = 63 \iff (n : 3^3 \cdot 5 \cdot 7) = 3^2 \cdot 7$$

De aca tenemos que, en su factorización,  $n$  tiene un  $3^2$ , no tiene un 5 y tiene un  $7^m$ ,  $m \geq 1$ .

Veamos ahora la segunda condición

$$(n : 1176) = 84 \iff (n : 2^3 \cdot 3 \cdot 7^2) = 2^2 \cdot 3 \cdot 7$$

De aca tenemos que, en su factorización,  $n$  tiene un  $2^2$ , tiene un  $3^k$ ,  $k \geq 1$  y tiene un 7.

Juntando todo, tenemos que

$$n = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 7 \cdot (P_1)^{m_1} \dots (P_r)^{m_r}, \quad m_1, \dots, m_r \in \mathbb{N}_0$$

Veamos ahora la tercer condición.

Si  $n$  no tiene ningún primo más, tenemos que  $n = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 7 = 252 \leq 2800$  ✓

Si  $n$  tiene un primo más, sabiendo que el 5 no puede ser, probamos con el 11, que es el que le sigue al 7. Entonces, tenemos que  $n = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 7 \cdot 11 = 2772 \leq 2800$  ✓

Si agregamos otro 11, ya nos pasamos, pues  $n = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 7 \cdot 11^2 = 30492$ . Por otro lado, si no agregamos el 11 sino el que le sigue, el 13, tenemos que  $n = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 7 \cdot 13 = 3276$ , con lo que también nos pasamos. De este modo, es evidente que con cualquier otro primo mayor a 13 también nos pasaríamos. Así, solo puede haber como máximo un 11 más.

Luego, los únicos  $n$  que cumplen son

$$n = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 7 = \boxed{252}$$

$$n = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 7 \cdot 11 = \boxed{2772}$$

(b) Veamos la primera condición

$$(n : 1260) = 70 \iff (n : 2^2 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 7) = 2 \cdot 5 \cdot 7$$

De aca deducimos que, en su factorización,  $n$  tiene un 2, no tiene un 3, tiene un  $5^m$ ,  $m \geq 1$  y tiene un  $7^k$ ,  $k \geq 1$ .

Así, tenemos que

$$n = 2^1 \cdot 5^m \cdot 7^k \cdot (P_1)^{m_1} \cdots (P_r)^{m_r}, \quad m_1, \dots, m_r \in \mathbb{N}_0$$

De la segunda condición tenemos que

$$\begin{aligned} \#Div_+(n) = 30 &\iff 30 = (1+1)(m+1)(k+1)(m_1+1) \cdots (m_r+1) \iff \\ 15 &= (m+1)(k+1)(m_1+1) \cdots (m_r+1) \end{aligned}$$

Notemos ahora que las únicas maneras de escribir a  $15 = 3 \cdot 5$  como un producto de dos o más números es haciendo  $15 \cdot 1$  o  $3 \cdot 5$

Para empezar, estos nos dice que no hay más primos en la factorización de  $n$ , además del 2, 5 y 7. Luego, tenemos que

$$15 = (m+1)(k+1)$$

Como ambos factores son mayores iguales a 2 (pues  $k$  y  $m$  son mayores a 1), tenemos que la única manera que el producto de 15 es que uno sea igual a 3 y el otro a 5. Con lo que tenemos dos opciones:

$$(m+1) = 3 \quad \text{y} \quad (k+1) = 5$$


$$(m+1) = 5 \quad \text{y} \quad (k+1) = 3$$

De la primera obtenemos que  $m = 2$  y que  $k = 4$ . Con lo que  $n = 2 \cdot 5^2 \cdot 7^4$ . De la segunda obtenemos que  $m = 4$  y que  $k = 2$ . Con lo que  $n = 2 \cdot 5^4 \cdot 7^2$ .

Luego, los únicos  $n$  que cumplen son

$$n = 2 \cdot 5^2 \cdot 7^4 = \boxed{120050}$$

$$n = 2 \cdot 5^4 \cdot 7^2 = \boxed{2772}$$

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

 Nunezca 

**34.** Hallar el menor número natural  $n$  tal que  $(n : 3150) = 45$  y  $n$  tenga exactamente 12 divisores positivos.

Trabajemos con la primera condición:

$$(n : 3150) = 45 \iff (n : 2 \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdot 7) = 3^2 \cdot 5$$

Utilizando que el MCD se calcula como primos en común a la menor potencia, concluimos que  $n$  no tiene en su factorización al 2 ni al 7 y que si tiene en su factorización un 5 y un  $3^i$ , con  $i \geq 2$ . Es decir:

$$n = 3^i \cdot 5 \cdot (P_1)^{m_1} \cdots (P_k)^{m_k}, \quad i \geq 2 \text{ y } m_j \geq 0$$

De la segunda condición tenemos que

$$12 = 2(i+1)(m_1+1)\dots(m_k+1) \iff 6 = (i+1)(m_1+1)\dots(m_k+1)$$


Como  $i \geq 2 \implies i+1 \geq 3$  y como queremos que el producto nos de 6, esto nos deja dos opciones:

- $(i+1) = 6$  y  $(m_1+1)\dots(m_k+1) = 1$
- $(i+1) = 3$  y  $(m_1+1)\dots(m_k+1) = 2$

De la primera tenemos que  $i = 5$  y que no hay otro primo en la factorización. De modo que  $n = 3^5 \cdot 5 = 1215$

De la segunda tenemos que  $i = 2$  y que solo puede haber otro primo en la factorización con  $m_1 = 1$ . Como nos piden el menor  $n$ , elegimos el menor primo que le sigue a 5 que no sea el 7, es decir, el 11. Entonces,  $n = 3^2 \cdot 5 \cdot 11 = 495$

Luego, eligiendo el menor entre los dos, la respuesta es  $\boxed{n = 495}$

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

 Nunezca 

35.

- (a) Sea  $k \in \mathbb{N}$ . Probar que  $(2^k + 7^k : 2^k - 7^k) = 1$ .
- (b) Sea  $k \in \mathbb{N}$ . Probar que  $(2^k + 5^{k+1} : 2^{k+1} + 5^k) = 3$  o  $9$ , y dar un ejemplo para cada caso.
- (c) Caracterizar para cada  $k \in \mathbb{N}$  el valor que toma  $(12^k - 1 : 12^k + 1286)$ .

(a) Sea  $d = (2^k + 7^k : 2^k - 7^k) = 1$ . Entonces

$$\left\{ \begin{array}{l} d \mid 2^k + 7^k \\ d \mid 2^k - 7^k \end{array} \right\} \begin{cases} \xrightarrow{F_1 + F_2} d \mid 2 \cdot 2^k \\ \xrightarrow{F_1 - F_2} d \mid 2 \cdot 7^k \end{cases} \implies d \mid (2 \cdot 2^k : 2 \cdot 7^k) = 2(2^k : 7^k) \stackrel{!!}{=} 2 \cdot 1 = 2 \implies d \in \{1, 2\}$$

En !! uso que  $(2 : 7) = 1 \iff (2^k : 7^k) = 1$

Ahora nos gustaria descartar que  $d$  pueda ser 2, con lo que basta ver que 2 no divide a alguna de las expresiones. Para esto, miremos la congruencia módulo 2 de  $2^k + 7^k$ :

$$2^k + 7^k \equiv 0^k + 1^k \equiv 1 \pmod{2} \implies r_2(2^k + 7^k) = 1, \forall k \in \mathbb{N} \implies 2 \nmid 2^k + 7^k, \forall k \in \mathbb{N}$$

De aca, tenemos que  $2 \nmid d$ . Entonces, queda que  $\boxed{d = 1}$ , tal como queriamos probar.

(b) Sea  $d = (2^k + 5^{k+1} : 2^{k+1} + 5^k) = 1$ . Entonces

$$\left\{ \begin{array}{l} d \mid 2^k + 5^{k+1} \\ d \mid 2^{k+1} + 5^k \end{array} \right\} \begin{cases} \xrightarrow{2 \cdot F_1} \left\{ \begin{array}{l} d \mid 2^{k+1} + 2 \cdot 5^{k+1} \\ d \mid 2^{k+1} + 5^k \end{array} \right\} \xrightarrow{F_1 - F_2} d \mid 9 \cdot 5^k \\ \xrightarrow{5 \cdot F_2} \left\{ \begin{array}{l} d \mid 2^k + 5^{k+1} \\ d \mid 5 \cdot 2^{k+1} + 5^{k+1} \end{array} \right\} \xrightarrow{F_2 - F_1} d \mid 9 \cdot 2^k \end{cases} \implies d \mid (9 \cdot 5^k : 9 \cdot 2^k) = 9(5^k : 2^k) \stackrel{!!}{=} 9 \cdot 1 = 9$$

$$\implies d \in \{1, 3, 9\}$$

En !! uso que  $(5 : 2) = 1 \iff (5^k : 2^k) = 1$

Veamos ahora que  $d$  puede ser igual a 3 o a 9:

$$\left\{ \begin{array}{l} k = 1 \rightarrow d = (2^1 + 5^{1+1} : 2^{1+1} + 5^1) = (27 : 9) = (9 : 0) = 9 \quad \checkmark \\ k = 2 \rightarrow d = (2^2 + 5^{2+1} : 2^{2+1} + 5^2) = (129 : 33) = (33 : 30) = (30 : 3) = (3 : 0) = 3 \quad \checkmark \end{array} \right.$$

En estos pasos usé el algoritmo de Euclides.

Ahí tenemos que ver que  $d$  no puede ser 1, con lo que debemos verificar que ambas expresiones son siempre divisibles por 3. Para esto, miramos la congruencia módulo 3:

$$\begin{cases} 2^k + 5^{k+1} \equiv 2^k + 2^{k+1} \equiv 3 \cdot 2^k \equiv 0 \pmod{3} \implies r_3(2^k + 5^{k+1}) = 0, \forall k \in \mathbb{N} \\ 2^{k+1} + 5^k \equiv 2^{k+1} + 2^k \equiv 3 \cdot 2^k \equiv 0 \pmod{3} \implies r_3(2^{k+1} + 5^k) = 0, \forall k \in \mathbb{N} \end{cases}$$

Entonces, tenemos que

$$3 \mid 2^k + 5^{k+1} \quad \text{y} \quad 3 \mid 2^{k+1} + 5^k, \quad \forall k \in \mathbb{N}$$

Con lo que  $d$  no puede ser 1. Entonces  $\boxed{d = 3 \text{ o } 9}$ , tal como queríamos ver.

(c) Sea  $d = (12^k - 1 : 12^k + 1286)$ .

Notemos que  $(12^k + 1286) - (12^k - 1) = 1287$ . De modo que, haciendo Euclides, tenemos que

$$d = (12^k - 1 : 12^k + 1286) = (12^k - 1 : 1287) = (12^k - 1 : 3^2 \cdot 11 \cdot 13)$$

Miremos ahora la congruencia módulo 3, 11 y 13 de  $12^k - 1$ :

- mod 3

$$12^k - 1 \equiv 0^k + 2 \equiv 2 \pmod{3} \implies r_3(12^k - 1) = 2 \implies 3 \nmid 12^k - 1, \quad \forall k \in \mathbb{N}$$

Luego,  $3 \nmid d$ , de modo que  $d \in \{11, 13, 11 \cdot 13\}$

- mod 11

$$12^k - 1 \equiv 1^k - 1 \equiv 1 - 1 \equiv 0 \pmod{11} \implies r_{11}(12^k - 1) = 0 \implies 11 \mid 12^k - 1, \quad \forall k \in \mathbb{N}$$

Luego,  $11 \mid d$ , de modo que  $d \in \{11, 11 \cdot 13\}$

- mod 13

$$12^k - 1 \equiv (-1)^k - 1 \pmod{13}$$

Aca se abren dos opciones, dependiendo si  $k$  es par o impar.

Si  $k$  es par, tenemos que

$$(-1)^k = 1 \implies 12^k - 1 \equiv 0 \pmod{13} \implies r_{13}(12^k - 1) = 0 \implies 13 \mid 12^k - 1$$

Luego, tenemos que  $13 \mid d$ , de modo que  $d = 11 \cdot 13 = 143$ .


Si  $k$  es impar, tenemos que

$$(-1)^k = -1 \implies 12^k - 1 \equiv 11 \pmod{13} \implies r_{13}(12^k - 1) = 11 \implies 13 \nmid 12^k - 1$$

Luego, tenemos que  $13 \nmid d$ , de modo que  $d = 11$ .

Resumiendo

$$\begin{cases} \boxed{d = 11} & \text{si } k \text{ es impar} \\ \boxed{d = 143} & \text{si } k \text{ es par} \end{cases}$$

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

 Nunezca 

**36.** Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$ . Probar que si  $(a : b) = 1$  entonces  $(a^2 \cdot b^3 : a + b) = 1$ .

La estrategia es suponer que  $(a^2 \cdot b^3 : a + b) \neq 1$  sabiendo que  $(a : b) = 1$  y llegar a una contradicción. Sea  $d = (a^2 \cdot b^3 : a + b)$  con  $d \neq 1$ , entonces  $\exists p$  primo positivo tal que  $p \mid d$ . Luego

$$\left\{ \begin{array}{l} d \mid a^2 \cdot b^3 \\ d \mid a + b \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Transitividad}} \left\{ \begin{array}{l} p \mid a^2 \cdot b^3 \xrightarrow{p \text{ primo}} p \mid a \quad \text{o} \quad p \mid b \\ p \mid a + b \end{array} \right.$$

Esto nos deja dos opciones:

- Caso  $p \mid a$

$$\left\{ \begin{array}{l} p \mid a \\ p \mid a + b \end{array} \right\} \xrightarrow{F_2 - F_1} p \mid b$$

Lo cual es absurdo, pues  $p \mid a$  y  $p \mid b$ , pero dijimos que  $(a : b) = 1$ .

- Caso  $p \mid b$

$$\left\{ \begin{array}{l} p \mid b \\ p \mid a + b \end{array} \right\} \xrightarrow{F_2 - F_1} p \mid a$$

Lo cual es absurdo, pues  $p \mid a$  y  $p \mid b$ , pero dijimos que  $(a : b) = 1$ .

Sea como fuera, en ambos casos llegamos a un absurdo suponiendo que  $d \neq 1$ . Luego,  $d = 1$  ✓

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

👉 Nunezca 🐼

**37.** Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  tales que  $(a : b) = 5$ .

- Calcular los posibles valores de  $(ab : 5a - 10b)$  y dar un ejemplo para cada uno de ellos.
- Para cada  $k \in \mathbb{N}$ , calcular  $(a^{k-1}b : a^k + b^k)$ .

(a) Coprimizo: defino  $5a' = a$  y  $5b' = b$ , con lo que  $(a : b) = (5a' : 5b') = 5(a' : b') = 5$ , de modo que  $(a' : b') = 1$ .

Reemplazo en  $d = (ab : 5a - 10b)$  :

$$d = (ab : 5a - 10b) = (25a'b' : 25a' - 50b') = 25(a'b' : a' - 2b')$$

Sea ahora  $d' = (a'b' : a' - 2b')$ . Entonces,  $d = 25d'$ .

Trabajemos ahora con  $d'$

$$\left\{ \begin{array}{l} d' \mid a'b' \\ d' \mid a' - 2b' \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \xrightarrow{b' \cdot F_2} \left\{ \begin{array}{l} d' \mid a'b' \\ d' \mid a'b' - 2(b')^2 \end{array} \xrightarrow{F_1 - F_2} d' \mid 2(b')^2 \\ \xrightarrow{\frac{4 \cdot F_1}{2a' \cdot F_2}} \left\{ \begin{array}{l} d' \mid 4a'b' \\ d' \mid 2(a')^2 - 4b'a' \end{array} \xrightarrow{F_1 + F_2} d' \mid 2(a')^2 \end{array} \right. \implies d' \mid (2(b')^2 : 2(a')^2)$$

$$\implies d' \mid (2(b')^2 : 2(a')^2) = 2((b')^2 : (a')^2) \stackrel{!!}{=} 2 \cdot 1 = 2 \implies d' \mid 2 \implies d' \in \{1, 2\}$$

En !! uso que  $(b' : a') = 1 \iff ((b')^2 : (a')^2) = 1$

Como  $d' = 1$  o  $2$ , entonces  $d = 25$  o  $50$ . Veamos ahora que ambos valores son posibles:



$$\begin{cases} (a, b) = (0, 5) \xrightarrow{(0, 5) = 5} d = (0 : -50) = 50 \quad \checkmark \\ (a, b) = (5, 15) \xrightarrow{(5, 15) = 5} d = (75 : 25 - 150) = (50 : -125) = 25 \quad \checkmark \end{cases}$$

Luego,  $d = 25$  o  $50$

(b) Coprimizo: defino  $5a' = a$  y  $5b' = b$ , con lo que  $(a : b) = (5a' : 5b') = 5(a' : b') = 5$ , de modo que  $(a' : b') = 1$ .

Reemplazo en  $d = (a^{k-1}b : a^k + b^k)$  :

$$\begin{aligned} d &= (a^{k-1}b : a^k + b^k) = ((5a')^{k-1}5b' : (5a')^k + (5b')^k) = (5^k(a')^{k-1}b' : 5^k(a')^k + 5^k(b')^k) = \\ &= 5^k((a')^{k-1}b' : (a')^k + (b')^k) \end{aligned}$$


Sea  $d' = ((a')^{k-1}b' : (a')^k + (b')^k)$ , entonces  $d = 5^k d'$

Trabajemos ahora con  $d'$

$$\begin{aligned} \left\{ \begin{array}{l} d' \mid (a')^{k-1}b' \\ d' \mid (a')^k + (b')^k \end{array} \right\} &\left\{ \begin{array}{l} \xrightarrow[(a')^k \cdot F_2]{a'(b')^{k-1} \cdot F_1} \left\{ \begin{array}{l} d' \mid (a')^k(b')^k \\ d' \mid (a')^{2k} + (b')^k(a')^k \end{array} \right. \xrightarrow[F_2 - F_1]{F_2 - F_1} d' \mid (a')^{2k} \\ \xrightarrow[(b')^k \cdot F_2]{a'(b')^{k-1} \cdot F_1} \left\{ \begin{array}{l} d' \mid (a')^k(b')^k \\ d' \mid (b')^{2k} + (b')^k(a')^k \end{array} \right. \xrightarrow[F_2 - F_1]{F_2 - F_1} d' \mid (b')^{2k} \end{array} \right. \\ &\implies d' \mid ((a')^{2k} : (b')^{2k}) \stackrel{!!}{=} 1 \\ &\implies d' \mid 1 \implies d' = 1 \end{aligned}$$

En !! uso que  $(a' : b') = 1 \iff ((a')^{2k} : (b')^{2k}) = 1$

Luego, como  $d' = 1$ , tenemos que  $d = 5^k$ , para cada  $k \in \mathbb{N}$

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

 Nunezca 

### 38.

(a) Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  tales que  $(a : b) = 3$ . Calcular los posibles valores de  $(a^2 + 15b + 57 : 4050)$  y dar un ejemplo en cada caso.

(b) Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$ . Sabiendo que  $b \equiv 6 \pmod{24}$  y que  $(a : b) = 13$ , calcular  $(5a^2 + 11b + 117 : 624)$ .

(a) Coprimizo: defino  $3x = a$  y  $3y = b$ , con lo que  $(a : b) = (3x : 3y) = 3(x : y) = 3$ , de modo que  $(x : y) = 1$ .

Reemplazo en  $d = (a^2 + 15b + 57 : 4050)$  :

$$d = (a^2 + 15b + 57 : 4050) = (9x^2 + 45y + 57 : 2 \cdot 3^4 \cdot 5^2) = 3(3x^2 + 15y + 19 : 2 \cdot 3^3 \cdot 5^2)$$

Sea ahora  $d' = (3x^2 + 15y + 19 : 2 \cdot 3^3 \cdot 5^2)$ . Entonces,  $d = 3d'$ .

Sabiendo todo esto, tenemos que

$$d' \mid 2 \cdot 3^3 \cdot 5^2 \implies d' \in \{1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 15, 18, 25, 27, 30, 45, 50, 54, 75, 90, 135, 150, 225, 270, 450, 675, 1350\}$$

Miremos ahora la congruencia de  $3x^2 + 15y + 19$  módulo 3 y 5:

- mod 5

Notemos que  $3x^2 + 15y + 19 \equiv 3x^2 + 4 \pmod{5}$ . Entonces, veo la tabla de restos de  $3x^2 + 4$ .

|                 |   |   |   |   |   |
|-----------------|---|---|---|---|---|
| $r_5(x)$        | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $r_5(3x^2 + 4)$ | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 |

De aca tenemos que  $5 \nmid 3x^2 + 15y + 19 \quad \forall x \in \mathbb{Z}$ . Luego,  $5 \nmid d'$ . Con lo que

$$d' \in \{1, 2, 3, 6, 9, 18, 27, 54\}$$

- mod 3

Acá no hace falta ver la tabla de restos, pues notemos que  $3x^2 + 15y + 19 \equiv 1 \pmod{3}$ . Entonces  $3 \nmid 3x^2 + 15y + 19 \quad \forall x \in \mathbb{Z}$ . Luego,  $3 \nmid d'$ . Con lo que

$$d' \in \{1, 2\}$$

Como  $d' = 1$  o  $2$ , entonces,  $d = 3$  o  $6$ . Veamos ahora ejemplos de que cada uno es posible:

$$\begin{cases} (a, b) = (3, 3) \xrightarrow{(3, 3) = 3} d = (111 : 4050) = (111 : 54) = (54 : 3) = (3 : 0) = 3 \quad \checkmark \\ (a, b) = (6, 3) \xrightarrow{(6, 3) = 3} d = (138 : 4050) = (138 : 48) = (48 : 42) = (42 : 6) = (6 : 0) = 6 \quad \checkmark \end{cases}$$

Luego,  $\boxed{d = 3 \text{ o } 6}$ .

(b) Coprimizo: defino  $13x = a$  y  $13y = b$ , con lo que  $(a : b) = (13x : 13y) = 13(x : y) = 13$ , de modo que  $(x : y) = 1$ .

Reemplazo en  $d = (5a^2 + 11b + 117 : 624)$  :

$$d = (5a^2 + 11b + 117 : 624) = (5 \cdot 13^2 \cdot x^2 + 143y + 117 : 2^4 \cdot 3 \cdot 13) = 13(65x^2 + 11y + 9 : 2^4 \cdot 3)$$

Sea ahora  $d' = (65x^2 + 11y + 9 : 2^4 \cdot 3)$ . Entonces,  $d = 13d'$ .

Sabiendo todo esto, tenemos que

$$d' \mid 2^4 \cdot 3 \implies d' \in \{1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 48\}$$

Antes de mirar las congruencias, veamos la condición que dice que  $b \equiv 6 \pmod{24}$ . De esta obtenemos lo siguiente

$$b \equiv 6 \pmod{24} \implies \begin{cases} b \equiv 0 \pmod{2} \\ b \equiv 0 \pmod{3} \\ b \equiv 2 \pmod{4} \\ b \equiv 6 \pmod{8} \end{cases}$$

Para obtener condiciones sobre  $y$ , usamos  $b = 13y$ . Entonces

$$\begin{cases} b \equiv 0 \pmod{2} \implies 13y \equiv 0 \pmod{2} \xrightarrow{13 \equiv 1 \pmod{2}} y \equiv 0 \pmod{2} \\ b \equiv 0 \pmod{3} \implies 13y \equiv 0 \pmod{3} \xrightarrow{13 \equiv 1 \pmod{3}} y \equiv 0 \pmod{3} \\ b \equiv 2 \pmod{4} \implies 13y \equiv 2 \pmod{4} \xrightarrow{13 \equiv 1 \pmod{4}} y \equiv 2 \pmod{4} \\ b \equiv 6 \pmod{8} \implies 13y \equiv 6 \pmod{8} \xrightarrow{13 \equiv 5 \pmod{8}} 65y \equiv 30 \pmod{8} \xrightarrow{65 \equiv 1 \pmod{8}} y \equiv 6 \pmod{8} \end{cases}$$

Miremos ahora las congruencias con la expresión  $65x^2 + 11y + 9$ .

- mod 3

Usando que  $y \equiv 0 \pmod{3}$ , tenemos que  $65x^2 + 11y + 9 \equiv 2x^2 \pmod{3}$ .

Miremos la tabla de restos con  $2x^2$

|             |   |   |   |
|-------------|---|---|---|
| $r_3(x)$    | 0 | 1 | 2 |
| $r_3(2x^2)$ | 0 | 2 | 2 |

Notemos que el resto es 0 si y solo  $x \equiv 0 \pmod{3}$ , pero esto no puede ser, pues tendríamos que  $3 \mid x$  y que  $3 \mid y$  y no se cumpliría que  $(x : y) = 1$ . Luego,  $3 \nmid 65x^2 + 11y + 9$ , con lo que  $3 \nmid d'$ . Con lo que

$$d' \in \{1, 2, 4, 8, 16\}$$

- mod 8

Usando que  $y \equiv 6 \pmod{8}$ , tenemos que  $65x^2 + 11y + 9 \equiv x^2 + 3 \pmod{8}$ .

Miremos la tabla de restos con  $x^2 + 3$

|                |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $r_8(x)$       | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $r_8(x^2 + 3)$ | 3 | 4 | 7 | 4 | 3 | 4 | 7 | 4 |

De aca tenemos que  $8 \nmid 65x^2 + 11y + 9$ . Luego,  $8 \nmid d'$ . Con lo que

$$d' \in \{1, 2, 4\}$$

- mod 2

Usando que  $y \equiv 0 \pmod{2}$ , tenemos que  $65x^2 + 11y + 9 \equiv x^2 + 1 \pmod{2}$ .

Miremos la tabla de restos con  $x^2 + 1$

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| $r_2(x)$       | 0 | 1 |
| $r_2(x^2 + 1)$ | 1 | 0 |

De aca tenemos que el resto es 0 si y solo si  $x \equiv 1 \pmod{2}$ . Notemos que en realidad esta es la única opción, pues no puede ser que  $x \equiv 0 \pmod{2}$ , pues tendríamos que  $(x : y) \neq 1$ . Luego  $2 \mid 65x^2 + 11y + 9$ , con lo que  $2 \mid d'$ . Así tenemos

$$d' \in \{2, 4\}$$

- mod 4


Usando que  $y \equiv 2 \pmod{4}$ , tenemos que  $65x^2 + 11y + 9 \equiv x^2 + 3 \pmod{4}$ .

Como del caso anterior obtuvimos que  $x$  debe ser impar, basta ver la congruencia módulo 1 y 3:

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| $r_4(x)$       | 1 | 3 |
| $r_4(x^2 + 3)$ | 0 | 0 |

Como en ambos casos el resto es 0, tenemos que  $4 \mid 65x^2 + 11y + 9$ , de modo que  $4 \mid d'$ . Así, llegamos a que el único valor que puede tomar  $d'$  es 4.

Finalmente, tenemos que  $d = 13 \cdot 4 = \boxed{52}$

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

 Nunezca 

**39.** Hallar todos los  $n \in \mathbb{N}$  tales que

(a)  $[n : 130] = 260$ .

(b)  $[n : 420] = 7560$ .

(a)

$$[n : 130] = 260 \iff [n : 2 \cdot 5 \cdot 13] = 2^2 \cdot 5 \cdot 13$$

Como el mínimo común múltiplo se calcula con los primos a la máxima potencia, tenemos que  $n$  tiene un  $2^2$  y luego tenemos que puede tener al 5 y al 13, a ambos o a ninguno, pues el 5 y el 13 ya están en la factorización del 130.

Entonces, los  $n$  que cumplen son:

$$\begin{aligned}n &= 2^2 = \boxed{4} \\n &= 2^2 \cdot 5 = \boxed{20} \\n &= 2^2 \cdot 13 = \boxed{52} \\n &= 2^2 \cdot 5 \cdot 13 = \boxed{260}\end{aligned}$$


(b)

$$[n : 420] = 7560 \iff [n : 2^2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7] = 2^3 \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 7$$

Como el mínimo común múltiplo se calcula con los primos a la máxima potencia, tenemos que  $n$  tiene un  $2^3$ , un  $3^3$  y luego tenemos que puede tener al 5 y al 7, a ambos o a ninguno, pues el 5 y el 7 ya están en la factorización del 420.

Entonces, los  $n$  que cumplen son:

$$\begin{aligned}n &= 2^3 \cdot 3^3 = \boxed{216} \\n &= 2^3 \cdot 3^3 \cdot 5 = \boxed{1080} \\n &= 2^3 \cdot 3^3 \cdot 7 = \boxed{1512} \\n &= 2^3 \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 7 = \boxed{7560}\end{aligned}$$

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

 Nunezca 

40. Hallar todos los  $a, b \in \mathbb{N}$  tales que

(a)  $(a : b) = 10$  y  $[a : b] = 1500$ .

(b)  $3 \mid a$ ,  $(a : b) = 20$  y  $[a : b] = 9000$ .

(a) Veamos la primera condición

$$(a : b) = 10 \iff (a : b) = 2 \cdot 5$$

De aca tenemos que tanto  $a$  y  $b$  poseen en su factorización, como mínimo, un 2 y un 5.

Veamos la segunda condición

$$[a : b] = 1500 \iff [a : b] = 2^2 \cdot 3 \cdot 5^3$$

De aca tenemos que alguno entre  $a$  y  $b$  tiene un  $2^2$ , pero nos los dos a la vez, pues en el MCD aparece un 2. Por la misma razón, alguno tiene un 3, pero no los dos y alguno tiene un  $5^3$ , pero no los dos.

Resumiendo, tenemos que  $a$  y  $b$  tienen un 2 y un 5 siempre y debemos repartir un 2, un 3 y un  $5^2$  para formar todas las combinaciones posibles. Así, todos los  $a$  y  $b$  son

$$(a, b) = (2^2 \cdot 3 \cdot 5^3, 2 \cdot 5)$$

$$(a, b) = (2^2 \cdot 3 \cdot 5, 2 \cdot 5^3)$$

$$(a, b) = (2^2 \cdot 5, 2 \cdot 3 \cdot 5^3)$$

$$(a, b) = (2^2 \cdot 5^3, 2 \cdot 3 \cdot 5)$$

$$(a, b) = (2 \cdot 5, 2^2 \cdot 3 \cdot 5^3)$$

$$(a, b) = (2 \cdot 5^3, 2^2 \cdot 3 \cdot 5)$$

$$(a, b) = (2 \cdot 3 \cdot 5^3, 2^2 \cdot 5)$$

$$(a, b) = (2 \cdot 3 \cdot 5, 2^2 \cdot 5^3)$$

(b) Veamos la segunda condición

$$(a : b) = 20 \iff (a : b) = 2^2 \cdot 5$$

De aca tenemos que tanto  $a$  y  $b$  poseen en su factorización, como mínimo, un  $2^2$  y un  $5$ .

Veamos la tercera condición

$$[a : b] = 9000 \iff [a : b] = 2^3 \cdot 3^2 \cdot 5^3$$

De aca tenemos que alguno entre  $a$  y  $b$  tiene un  $2^3$ , pero nos los dos a la vez, pues en el MCD aparece un  $2^2$ . Por la misma razón, alguno tiene un  $5^3$ , pero no los dos.

En el caso del  $3^2$ , como tenemos la primera condición que nos dice que  $3 \mid a$ , el  $3^2$  debe estar en la factorización de  $a$  si o si.


Resumiendo, tenemos que  $a$  tiene un  $2^2$ , un  $3^2$  y un  $5$ , mientras  $b$  posee un  $2^2$  y un  $5$ . Ahora solo queda repartir un  $2$  y un  $5^2$  para formar todas las combinaciones posibles. Así, todos los  $a$  y  $b$  son

$$(a, b) = (2^3 \cdot 3^2 \cdot 5^3, 2^2 \cdot 5)$$

$$(a, b) = (2^2 \cdot 3^2 \cdot 5, 2^3 \cdot 5^3)$$

$$(a, b) = (2^3 \cdot 3^2 \cdot 5, 2^2 \cdot 5^3)$$

$$(a, b) = (2^2 \cdot 3^2 \cdot 5^3, 2^3 \cdot 5)$$

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

 Nunezca 

## 🔥 Ejercicios de parciales:

🔥1. 4400 ¿Cuántos divisores distintos tiene? ¿Cuánto vale la suma de sus divisores?

Factorizo el número a estudiar:

$$4400 = 2^4 \cdot 5^2 \cdot 11$$

Quiero encontrar los divisores  $m$  de 4400, por lo tanto:

$$m \mid 4400 \Leftrightarrow m = \pm 2^\alpha \cdot 5^\beta \cdot 11^\gamma \quad \text{con} \quad \begin{cases} 0 \leq \alpha \leq 4 \\ 0 \leq \beta \leq 2 \\ 0 \leq \gamma \leq 1 \end{cases}$$

Acá un poco de teoría sobre esto. Hay entonces un total de  $(4+1) \cdot (2+1) \cdot (1+1) = 30$  divisores positivos y 60 enteros.

Busco ahora la suma de esos divisores:

$$\sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^2 \sum_{k=0}^1 2^i \cdot 5^j \cdot 11^k \stackrel{!}{=} \left( \sum_{i=0}^4 2^i \right) \cdot \left( \sum_{j=0}^2 5^j \right) \cdot \left( \sum_{k=0}^1 11^k \right) \stackrel{!!}{=} \frac{2^{4+1} - 1}{2 - 1} \cdot \frac{5^{2+1} - 1}{5 - 1} \cdot \frac{11^{1+1} - 1}{11 - 1} = 31 \cdot 31 \cdot 12 = 11532.$$

Donde se separaran las sumatorias, porque los factores son independientes y luego se usó la fórmula geométrica.

Concluyendo hay un total de 60 divisores distintos, cuya suma es 11532.

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

👋 naD GarRaz 🐼

👋 Tobia Loni 🐼

🔥2. Hallar el menor  $n \in \mathbb{N}$  tal que:

- i)  $(n : 2528) = 316$
- ii)  $n$  tiene exactamente 48 divisores positivos
- iii)  $27 \nmid n$

Analizo los números:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xrightarrow[\text{factorizo}]{2528} 2528 = 2^5 \cdot 79 \quad \checkmark \\ \xrightarrow[\text{factorizo}]{316} 316 = 2^2 \cdot 79 \quad \checkmark \\ \xrightarrow[\text{re escribo}]{\text{condición}} (n : 2^5 \cdot 79) = 2^2 \cdot 79 \end{array} \right. \quad \xrightarrow[\text{quiero encontrar}]{} n = 2^{\alpha_2} \cdot 3^{\alpha_3} \cdot 5^{\alpha_5} \cdot 7^{\alpha_7} \dots 79^{\alpha_{79}} \dots$$

$$\xrightarrow{\text{como}} (n : 2^5 \cdot 79) = 2^2 \cdot 79 \xrightarrow[\text{que}]{\text{tengo}} \left\{ \begin{array}{l} \alpha_2 = 2, \\ \alpha_{79} \geq 1, \\ \xrightarrow[\text{que}]{\text{notar}} \alpha_3 < 3 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{dado que } 2^2 \cdot 79 \mid n. \text{ busco el menor } n!. \\ \text{Al igual que antes.} \\ \text{si no } 3^3 = 27 \mid n \end{array}$$

La estrategia sigue con el primo más chico que haya:

$$\left\{ \begin{array}{l} 48 = \underbrace{(\alpha_2 + 1)}_{2+1} \cdot (\alpha_3 + 1) \dots \\ 48 = 3 \cdot (\alpha_3 + 1) \dots \\ 16 = (\alpha_3 + 1) \cdot (\alpha_5 + 1) \cdot (\alpha_7 + 1) \dots \underbrace{(\alpha_{79} + 1)}_{=2 \text{ quiero el menor}} \dots \\ 8 = (\alpha_3 + 1) \cdot (\alpha_5 + 1) \cdot (\alpha_7 + 1) \dots \\ 8 = \underbrace{(\alpha_3 + 1)}_{=2} \cdot \underbrace{(\alpha_5 + 1)}_{=2} \cdot \underbrace{(\alpha_7 + 1)}_{=2} \cdot 1 \dots 1 \end{array} \right.$$

🐼 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 ↑](#)

El  $n$  que cumple lo pedido sería  $n = 2^2 \cdot 3^1 \cdot 5^1 \cdot 7^1 \cdot 79^1$

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

 naD  GarRaz

 **3.** Sabiendo que  $(a : b) = 5$ . Probar que  $(3ab : a^2 + b^2) = 25$

Arranco *comprimizando*:

$$\begin{cases} a = 5c \\ b = 5d \end{cases} \implies (3ab : a^2 + b^2) = 25 \xrightarrow[\text{!}]{\text{coprimizar}} (3cd : c^2 + d^2) = 1$$

Esto último nos dice que las expresiones  $3cd$  y  $c^2 + d^2$  son coprimas entre sí, en otras palabras, que *no hay ningún  $p$  primo* que divida ambas expresiones a la vez.

Pruebo por absurdo que no existe  $p$  primo que divida a ambas expresiones, es decir que no existe un  $p$ , tal que  $(3cd : c^2 + d^2) = p$ . Supongo que  $\exists p$  primo tal que:

$$p \mid 3 \cdot c \cdot d \Leftrightarrow \begin{cases} p \mid 3 & \star^1 \\ \text{o} \\ p \mid c & \star^2 \\ \text{o} \\ p \mid d & \star^3 \end{cases}$$

Si ocurre que  $p \mid 3 \Leftrightarrow p = 3$ . Quiero entonces ver si  $3 \mid c^2 + d^2 \Leftrightarrow c^2 + d^2 \equiv 0 \pmod{3}$ . Hago una tabla para estudiar esa última ecuación:

|                  |   |   |   |
|------------------|---|---|---|
| $r_3(c)$         | 0 | 1 | 2 |
| $r_3(d)$         | 0 | 1 | 2 |
| $r_3(c^2 + d^2)$ | 0 | 2 | 2 |

De la tabla concluimos que para que  $c^2 + d^2 \equiv 0 \pmod{3}$  debe ocurrir que:  $c \equiv 0 \pmod{3}$  y también que  $d \equiv 0 \pmod{3}$ , es decir que tanto  $c$  como  $d$  sean múltiplos de 3. Esto es una contradicción, ya que *no puede* ocurrir porque  $(c : d) = 1$ . Por lo tanto no puede ser que  $\star^1 p \mid 3$


Si ocurre ahora que  $\star^2 p \mid c$ , estudio a ver si también  $p \mid c^2 + d^2$ :

$$\begin{cases} p \mid c \\ p \mid c^2 + d^2 \end{cases} \xrightarrow{F_2 - c \cdot F_1 \rightarrow F_2} \begin{cases} p \mid c \\ p \mid d^2 \end{cases} \xrightarrow[\text{primo}]{p} p \mid d$$


Entonces si  $p \mid c$  y también  $p \mid c^2 + d^2$  debe ocurrir que  $p \mid d$ . Nuevamente contradicción ya que *no puede ocurrir* debido a que  $(c : d) = 1$ .

El caso  $\star^3$  es lo mismo que el caso  $\star^2$ .

Se concluye entonces que  $(3cd : c^2 + d^2) = 1$  con  $(c : d) = 1$ . Así probando que  $(3ab : a^2 + b^2) = 25$  con  $\begin{cases} a = 5c \\ b = 5d \end{cases}$

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

 naD  GarRaz

 **4.** Sea  $n \in \mathbb{N}$ . Probar que  $81 \mid (16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7)^{2024}$  si y solo si  $3 \mid n$ .

$\implies$ )

$$\begin{aligned} 81 \mid (16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7)^{2024} &\stackrel{!!!}{\implies} 3 \mid (16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7)^{506} \stackrel{\text{def}}{\iff} \\ &\stackrel{\text{def}}{\iff} (16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7)^{2024} \equiv 0 \pmod{3} \stackrel{!}{\iff} (n^2)^{2024} \equiv 0 \pmod{3} \Leftrightarrow n^{4048} \equiv 0 \pmod{3} \stackrel{!!}{\implies} n \equiv 0 \pmod{3} \\ &\boxed{81 \mid (16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7)^{2024} \implies 3 \mid n} \end{aligned}$$


En el **!!!** uso esto  $p^n \mid a^n \Leftrightarrow p \mid a$ . En **!** son cuentas de congruencia. Y en **!!** uso esto,  $p \mid a^n \Rightarrow p \mid a$ .

$\Leftarrow$ )

$$3 \mid n \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} n \equiv 0 \pmod{3} \stackrel{!}{\Leftrightarrow} n^2 \equiv 0 \pmod{3} \stackrel{!}{\Leftrightarrow} 16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7 \equiv 0 \pmod{3} \stackrel{!}{\Leftrightarrow} \\ \stackrel{!}{\Leftrightarrow} (16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7)^4 \equiv 0 \pmod{3^4} \stackrel{!}{\Rightarrow} (16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7)^{2024} \equiv 0 \pmod{3^4}$$

$$\boxed{3 \mid n \Rightarrow 81 \mid (16n^2 + 8^{2n} - 15n - 7)^{2024}}$$

En el primero y último **!** uso que  $n \equiv 0 \pmod{d} \Rightarrow n^m \equiv 0 \pmod{d}$  y en los otros la mismas cosas que antes... *ponele*

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

 naD  GarRaz 

**5.** Determinar los posibles valores de  $d = (a^2 - 2a - 5 : a - 1)$  para  $a \in \mathbb{Z}$ . Exhibir un valor de  $a$  correspondiente a cada uno de los valores de  $d$  hallados.

Parecido a cosas que ya se hicieron en otros ejercicios. Simplificamos si se puede con Euclides y después con tabla de restos filtramos los máximos común divisores que quedaron.

*Euclides con División de polinomios*

$$\begin{array}{r|l} X^2 - 2X - 5 & X - 1 \\ -X^2 + X & X - 1 \\ \hline -X - 5 & \\ X - 1 & \\ \hline -6 & \end{array}$$

Que en el resto quede un número es una excelente noticia, podemos reescribir al mcd:

$$d = (a^2 - 2a - 5 : a - 1) = (a - 1 : -6)$$

Con ese resultado y dado que  $d \mid a - 1$  y también  $d \mid 6$ :

$$d \in \{1, 2, 3, 6\}$$

Tabla de restos para ver para que valores de  $a$  se divide la expresión  $a - 1$

|              |   |          |
|--------------|---|----------|
| $r_2(a)$     | 0 | 1        |
| $r_2(a - 1)$ | 1 | <b>0</b> |

|              |   |          |   |
|--------------|---|----------|---|
| $r_3(a)$     | 0 | 1        | 2 |
| $r_3(a - 1)$ | 2 | <b>0</b> | 1 |

|              |   |          |   |   |   |   |
|--------------|---|----------|---|---|---|---|
| $r_6(a)$     | 0 | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $r_6(a - 1)$ | 5 | <b>0</b> | 1 | 2 | 3 | 4 |

Ahora hay que elegir un valor  $a$  de forma tal que  $d$  sea un valor que cumpla con los resultados.


Hay que tener cuidado, porque los conjuntos de  $a$  que salen de la tabla de restos no son disjuntos.

Los siguientes valores salen a ojímetro:

$$\text{si } a = 5 \Rightarrow d = 2$$

$$\text{si } a = 4 \Rightarrow d = 3$$

$$\text{si } a = 7 \Rightarrow d = 6$$

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

 naD  GarRaz 

**6.** Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  tal que  $(a : b) = 6$ . Hallar todos los  $d = (2a + b : 3a - 2b)$  y dar un ejemplo en cada caso.

Conviene *coprimizar*:  $(a : b) = 6 \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} a = 6A \\ b = 6B \end{array} \right\}$  con  $(A : B)^{\star 1} = 1$

$$d = (2 \cdot 6A + 6B : 3 \cdot 6A - 2 \cdot 6B) = (6 \cdot (2 \cdot A + B) : 6 \cdot (3 \cdot A - 2 \cdot B)) = 6 \cdot \underbrace{(2A + B : 3A - 2B)}_D$$

 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 ↑](#)





8. Sea  $(a_n)_{n \in \mathbb{N}_0}$  con  $\begin{cases} a_0 = 1 \\ a_1 = 3 \\ a_n = a_{n-1} - a_{n-2} \quad \forall n \geq 2 \end{cases}$

a) Probar que  $a_{n+6} = a_n$

b) Calcular  $\sum_{k=0}^{255} a_k$

(a) Por inducción:

$$p(n) : a_{n+6} = a_n \quad \forall n \geq \mathbb{N}_0$$

Primero notar que:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 = 1 \\ a_1 = 3 \\ a_2 \stackrel{\text{def}}{=} 2 \star^1 \\ a_3 \stackrel{\text{def}}{=} -1 \\ a_4 \stackrel{\text{def}}{=} -3 \\ a_5 \stackrel{\text{def}}{=} -2 \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} a_6 \stackrel{\text{def}}{=} 1 \\ a_7 \stackrel{\text{def}}{=} 3 \\ a_8 \stackrel{\text{def}}{=} 2 \star^1 \\ a_9 \stackrel{\text{def}}{=} -1 \\ a_{10} \stackrel{\text{def}}{=} -3 \\ a_{11} \stackrel{\text{def}}{=} -2 \end{array} \right\}$$

Se ve que tiene un período de 6 elementos.

Caso Base:  $p(2) : a_8 \stackrel{?}{=} a_2 \quad \checkmark$

Paso inductivo: Asumo que

$$p(k) : \underbrace{a_{k+6} = a_k \text{ para algún } k \geq \mathbb{N}_{\geq 2}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

entonces quiero probar que,

$$p(k+1) : a_{k+1+6} = a_{k+1}$$

también sea verdadera.

Parto desde  $p(k+1)$

$$a_{k+7} \stackrel{\text{def}}{=} a_{k+6} - a_{k+5} \stackrel{\text{HI}}{=} a_k - a_{k+5} \stackrel{\text{def}}{=} a_k - (a_k + a_{k+4}) = -a_{k+4} \implies a_{k+7} = -a_{k+4} \quad \checkmark$$

Ahora uso la definición de manera sucesiva:

$$a_{k+7} = -a_{k+4} \stackrel{\text{def}}{=} -(a_{k+3} - a_{k+2}) \stackrel{\text{def}}{=} -(a_{k+2} - a_{k+1} - a_{k+2}) = a_{k+1} \implies a_{k+7} = a_{k+1} \quad \checkmark$$

Como  $p(2), p(3), p(4), p(5), p(k)$  y  $p(k+1)$  son verdaderas por el principio de inducción  $p(n)$  también es verdadera  $\forall n \in \mathbb{N}_{\geq 2}$

$$(b) \sum_{k=0}^{255} a_k = \underbrace{a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}_{=0} + \underbrace{a_6 + a_7 + a_8 + a_9 + a_{10} + a_{11}}_{=0} + \cdots + a_{252} + a_{253} + a_{254} + a_{255}$$

En la sumatoria hay 256 términos.  $256 = 42 \cdot 6 + 4$  por lo tanto van a haber 42 bloques que dan 0 y sobreviven los últimos 4 términos.  $\sum_{k=0}^{255} a_k = \underbrace{0 + 0 + \cdots + 0}_{42 \text{ ceros}} + a_{252} + a_{253} + a_{254} + a_{255} = \cancel{a_{252}} + a_{253} + a_{254} + \cancel{a_{255}} = a_{253} + a_{254} = 5$

Donde usé que:  $a_n = \begin{cases} 1 & \text{si } n \bmod 6 = 0 \\ 3 & \text{si } n \bmod 6 = 1 \\ 2 & \text{si } n \bmod 6 = 2 \\ -1 & \text{si } n \bmod 6 = 3 \\ -3 & \text{si } n \bmod 6 = 4 \\ -2 & \text{si } n \bmod 6 = 5 \end{cases} \longrightarrow \boxed{\sum_{k=0}^{255} a_k = 5} \quad \checkmark$

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

🧡 naD GarRaz 🧡

🔥9. Determinar todos los  $a \in \mathbb{Z}$  que cumplen que

$$\frac{2a-1}{5} - \frac{a-1}{2a-3} \in \mathbb{Z}.$$

Busco una fracción. Para que esa fracción en  $\mathbb{Z}$  es necesario que el denominador divida al numerador. Fin.

$$\frac{2a-1}{5} - \frac{a-1}{2a-3} = \frac{4a^2 - 13a + 8}{10a - 15} \quad \checkmark$$

$$\star^1 \left\{ \begin{array}{l} 10a - 15 \mid 4a^2 - 13a + 8 \\ 10a - 15 \mid 10a - 15 \end{array} \right. \xrightarrow[\text{varias}]{\text{operaciones}} \left\{ \begin{array}{l} 10a - 15 \mid -25\star^2 \\ 10a - 15 \mid 10a - 15 \end{array} \right.$$

Para que ocurra  $\star^1$ , debe ocurrir  $\star^2$ .

$$10a - 15 \mid -25 \iff 10a - 25 \in \{\pm 1, \pm 5, \pm 25\} \star^3 \text{ para algún } a \in \mathbb{Z}. \quad \checkmark$$

De paso observo que  $|10a - 25| \leq 25$ . Busco  $a$ :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{Caso: } d = 10a - 15 = 1 & \iff a = \frac{16}{5} \quad \text{💀} \\ \text{Caso: } d = 10a - 15 = -1 & \iff a = \frac{14}{5} \quad \text{💀} \\ \text{Caso: } d = 10a - 15 = 5 & \iff a = 2 \quad \checkmark \\ \text{Caso: } d = 10a - 15 = -5 & \iff a = 1 \quad \checkmark \\ \text{Caso: } d = 10a - 15 = 25 & \iff a = 4 \quad \checkmark \\ \text{Caso: } d = 10a - 15 = -25 & \iff a = -1 \quad \checkmark \end{array} \right.$$

Los valores de  $a \in \mathbb{Z}$  que cumplen  $\star^2$  son  $\{-1, 1, 2, 4\}$ . Voy a evaluar y así encontrar para cual de ellos se cumple  $\star^1$ , es decir que el numerador sea un múltiplo del denominador para el valor de  $a$  usado.

$$\begin{array}{llllll} d = 5 & a = 2 & \implies & 4 \cdot 2^2 - 13 \cdot 2 + 8 = -2 & \rightarrow & 5 \nmid -2 \quad \text{💀} \\ d = -5 & a = 1 & \implies & 4 \cdot 1^2 - 13 \cdot 1 + 8 = 1 & \rightarrow & -5 \nmid 1 \quad \text{💀} \\ d = 25 & a = 4 & \implies & 4 \cdot 4^2 - 13 \cdot 4 + 8 = 4 & \rightarrow & 25 \nmid 4 \quad \text{💀} \\ d = -25 & a = -1 & \implies & 4 \cdot (-1)^2 - 13 \cdot (-1) + 8 = 25 & \rightarrow & -25 \mid 25 \quad \checkmark \end{array}$$

El único valor de  $a \in \mathbb{Z}$  que cumple lo pedido es  $\boxed{a = -1}$

*Notas extras sobre el ejercicio:*

Para  $a = -1$  se obtiene  $\frac{2a-1}{5} - \frac{a-1}{2a-3} = -1$ . Más aún, si hubiese encarado el ejercicio con tablas de restos para ver si lo de arriba es divisible por los divisores en  $\star^3$ , calcularía:

$$r_5(4a^2 - 13a + 8) \quad \text{y} \quad r_{25}(4a^2 - 13a + 8)$$

$$r_5(4a^2 - 13a + 8) = 0 \iff \left\{ \begin{array}{l} a \equiv 3 \pmod{5} \\ a \equiv 4 \equiv -1 \pmod{5} \end{array} \right. \quad \text{y} \quad r_{25}(4a^2 - 13a + 8) = 0 \iff \left\{ \begin{array}{l} a \equiv 23 \pmod{25} \\ a \equiv 24 \equiv -1 \pmod{25} \end{array} \right.$$

Se puede ver también así que el único valor de  $a \in \mathbb{Z}$ , que cumple  $\star^1$  es  $a = -1$

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

🧡 naD GarRaz 🧡

🔥10. Sea  $(a_n)_{n \in \mathbb{N}}$  la sucesión dada por recurrencia:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 = 30, \\ a_2 = 16, \\ a_{n+2} = 24a_{n+1} + 65^n a_n + 96n^4 \end{array} \right. \quad \forall n \geq 1.$$

Probar que  $a_n \equiv 3^n - 5^n \pmod{32}$ ,  $\forall n \geq 1$ .

Ejercicio intimidante a primera vista. Acomodemos un poco el enunciado así hacemos inducción.

Estoy buscando el módulo 32,  $a_{n+2}$  queda más amigable:  $\star^1 a_{n+2} \stackrel{(32)}{\equiv} 24a_{n+1} + a_n \quad \checkmark$

Inducción:

$$p(n) : a_n \equiv 3^n - 5^n \pmod{32} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Casos base:

$$\begin{cases} p(1) : a_1 \equiv 3 - 5 \pmod{32} & \iff a_1 \equiv 30 \pmod{32} & \checkmark & p(1) \text{ resultó verdadera.} \\ p(2) : a_2 \equiv 3^2 - 5^2 \pmod{32} & \iff a_2 \equiv 16 \pmod{32} & \checkmark & p(2) \text{ resultó verdadera.} \end{cases}$$

Pasos inductivos:

Para algún  $k \in \mathbb{Z}$ :

$$\begin{cases} p(k) : \overbrace{a_k \equiv 3^k - 5^k \pmod{32}}^{\text{hipótesis inductiva}} & \text{Se asume verdadera.} \\ p(k+1) : \underbrace{a_{k+1} \equiv 3^{k+1} - 5^{k+1} \pmod{32}}_{\text{también hipótesis inductiva}} & \text{También se asume verdadera.} \end{cases}$$

Y queremos probar entonces que:

$$p(k+2) : a_{k+2} \equiv 3^{k+2} - 5^{k+2} \pmod{32}$$

Arranco con la definición de la sucesión que se cocinó un poco en  $\star^1$ :

$$a_{k+2} \stackrel{\text{def}}{=} 24a_{k+1} + 65^k a_k + 96k^4 \stackrel{(32)}{\equiv} 24(3^{k+1} - 5^{k+1}) + 3^k - 5^k \stackrel{!!}{=} 73 \cdot 3^k - 121 \cdot 5^k \stackrel{(32)}{\equiv} 9 \cdot 3^k - 25 \cdot 5^k = 3^{k+2} - 5^{k+2}. \checkmark$$

Si te quedaste picando en  $!!$ , seguí mirando ese paso, porque son cuentas que tenés que poder *encontrar* mirando fijo el tiempo que sea necesario. Por mi parte 🍷.

Y así fue como comprobamos que el enunciado ladraba pero no mordía.

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

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

🍷 naD GarRaz 🍷

🔥11. Estudiar los valores para **todos** los  $a \in \mathbb{Z}$  de  $(a^3 + 31 : a^2 - a + 1)$ .

Simplifico la expresión  $(a^3 + 31 : a^2 - a + 1)$  con el querido algoritmo de Euclides:

$$\begin{array}{r|l} X^3 & + 31 \\ -X^3 + X^2 - X & \\ \hline X^2 - X + 31 & \\ -X^2 + X & -1 \\ \hline 30 & \end{array}$$

Por lo tanto el mcd  $d = (a^3 + 31 : a^2 - a + 1) = (a^2 - a + 1 : 30)$ , es decir que:

$$d \mid 30 \implies d \in \{1, 2, 3, 5, 6, 10, 15, 30\}$$

Muchos divisores. Se pueden eliminar unos cuantos notando que  $a^2 - a + 1$  es una expresión siempre impar. Una forma de mostrar esto:

🍷 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 ↑](#)

$$a^2 - a + 1 \text{ es impar} \Leftrightarrow a^2 - a + 1 \equiv 1 \pmod{2} \stackrel{!}{\Leftrightarrow} a \cdot (a - 1) \equiv 0 \pmod{2}$$

La última expresión  $a \cdot (a - 1)$  es siempre **par**, dado que es un número multiplicado por su consecutivo. Otra forma de mostrar la paridad sería reemplazando por  $2k$  y luego por  $2k + 1$  y ver que los resultados son siempre impares.

$$a = \underbrace{2k}_{\text{par}} \Rightarrow (2k)^2 - 2k + 1 = \underbrace{2 \cdot (2k^2 - k)}_{\text{par}} + 1 \quad \checkmark$$

$$a = \underbrace{2k + 1}_{\text{impar}} \Rightarrow (2k + 1)^2 - 2(k + 1) + 1 = \underbrace{2 \cdot (2k^2 + 3k + 2)}_{\text{par}} + 1 \quad \checkmark$$

Hacé lo que más te guste ☺!

Dado que esa expresión es impar podemos reducir el conjunto de divisores a:

$$d \mid 30 \quad \text{y} \quad d \equiv 1 \pmod{2} \Rightarrow d \in \{1, 3, 5, 15\}.$$

*Tabla de restos:* Siempre empezando por el menor valor

|                    |   |   |          |
|--------------------|---|---|----------|
| $r_3(a)$           | 0 | 1 | 2        |
| $r_3(a^2 - a + 1)$ | 1 | 1 | <b>0</b> |

Obtenemos que 3 *es un potencial mcd* cuando  $r_3(a) = 2$  o dicho de otro modo  $a \equiv 2 \pmod{3}$ .

|                    |   |   |   |   |   |
|--------------------|---|---|---|---|---|
| $r_5(a)$           | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $r_5(a^2 - a + 1)$ | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 |

Obtenemos que 5 *no es un potencial mcd*, por lo que 15 tampoco será un divisor de la expresión  $a^2 - a + 1$ . Con la información obtenida se puede concluir que:

$$d = \begin{cases} 3 & \text{si } a \equiv 2 \pmod{3} \\ 1 & \text{si } a \not\equiv 2 \pmod{3} \end{cases}$$

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

👋 naD GarRaz 🐼

👋 Maxi T. 🐼

🔥12. Determinar para cada par  $(a, b) \in \mathbb{Z}^2$  tal que  $(a : b) = 7$  el valor de

$$(a^2b^4 : 7^5(-a + b)).$$

*Coprimizar:*

$$d = (a^2b^4 : 7^5(-a + b)) \stackrel{\frac{a=7A}{b=7B}}{\Leftrightarrow} 7^6 \cdot (A^2B^4 : B - A) \Leftrightarrow d = 7^6 \cdot D$$

$$\begin{cases} D \mid A^2B^4 \\ D \mid B - A \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} B \equiv A \pmod{D} \star^1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} D \mid A^2B^4 \stackrel{\star^1}{\Leftrightarrow} \boxed{B^6 \equiv 0 \pmod{D}} \\ \text{y también} \\ D \mid A^2B^4 \stackrel{\star^1}{\Leftrightarrow} \boxed{A^6 \equiv 0 \pmod{D}} \end{cases}$$


El resultado dice que  $D \mid A^6$  y que  $D \mid B^6$  lo cual está complicado porque  $A$  y  $B$  son coprimos, por lo tanto  $A^6$  y  $B^6$  también y  $(A^6 : B^6) \stackrel{\star^2}{\equiv} 1 = D$ .

★<sup>2</sup> la factorización en primos lo muestra, mismos factores elevados a la 6, no puede cambiar la coprimisimilitubilidad.


Creo que hay que justificar con algo más, pero no sé, con algo de primos? Bueh, algo así:

Si  $D \mid A^6$  entonces la *descomposición en primos* de  $D = p_1^{i_d} \cdots p_n^{j_d}$  tiene que tener solo factores de la *descomposición en primos* de  $A^6 = p_1^i \cdots p_n^j \cdot p_{n+1}^k \cdots p_m^l$  con los exponentes de los factores de  $D (i_d, j_d, \dots)$ , menores o iguales a los exponentes de  $A^6 (i, j, \dots)$  de manera que al dividir:

$$\frac{A^6}{D} = \frac{p_1^i \cdots p_n^j \cdot p_{n+1}^k \cdots p_m^l}{p_1^{i_d} \cdots p_n^{j_d} \cdot p_{n+1}^{k_d} \cdots p_m^{l_d}} = \frac{\overbrace{p_1^{i-i_d}}^{0 \leq} \cdots \overbrace{p_n^{j-j_d}}^{0 \leq} \cdot \overbrace{p_{n+1}^{k-k_d}}^{0 \leq} \cdots \overbrace{p_m^{l-l_d}}^{0 \leq}}{1},$$

es decir que se cancele todo de manera que quede un **1** en el denominador. Eso es que  $D \mid A^6$  ni más ni menos. Y sí, *muy rico todo*, pero esa cantinela es la misma para  $D \mid B^6$ , **pero** la *descomposición en primos* de  $B^6$  tiene los  $p_i$  **distintos** a los de  $A^6$ , porque  $i(A^6 : B^6) = 1!$  y ahí llegamos al absurdo.  $D$  no puede dividir a ambos a la vez, **porque son coprimos** , a menos que  $D = 1$  ✓.

$$D = 1 \implies \boxed{d = 7^6}, \text{ para cada } (a, b) \in \mathbb{Z}^2 / (a : b) = 7$$

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

 naD  

 **13.** Calcular  $(a \cdot b^2 : 3a^2 + 3b^2)$  para cada par de enteros  $a$  y  $b$  tales que  $(a : b) = 3$ .

Hay que *comprimizar*, *encontrar posibles divisores*, *interpretar resultado*.

*Coprimizar:*

$$(a : b) = 3 \Leftrightarrow \left(\frac{a}{3} : \frac{b}{3}\right) = 1 \xleftrightarrow[b=3B]{a=3A} (A : B) = 1 \Leftrightarrow A \perp B.$$

*Reemplazo y acomodo:*

$$d = (a \cdot b^2 : 3a^2 + 3b^2) \xleftrightarrow{!} d = 27(A \cdot B^2 : A^2 + B^2) \xleftrightarrow{d=27D} D = (A \cdot B^2 : A^2 + B^2) \text{ con } A \perp B$$

Dado que  $D$  es el mcd, tiene que cumplir que:

$$\left\{ \begin{array}{l} D \mid A \cdot B^2 \\ D \mid A^2 + B^2 \end{array} \right. \xrightarrow{!!} \left\{ \begin{array}{l} D \mid A^3 \\ D \mid B^4 \end{array} \right.$$

Oka, ahí en el **!!** hice lo de siempre: Multiplique una fila por  $A$  o  $B$  y resté y coso.


Lo que nos queda es algo muy parecido a lo que pasó en el ejercicio [éste\(click\)](#).

*Interpretación:*

Tenemos que  $D$  por su condición de divisor común debe dividir a dos número *coprimos*, dado que si  $A \perp B$  también sucede que  $A^3 \perp B^4$ , because *primos and shit*, y bueh, ¿Puede ser eso posible?.. Sí! Cuando  $D = 1$ .

Entonces:



$$D = 1 \implies d = 27 \text{ para cada par } (a, b) \in \mathbb{Z} / (a : b) = 3$$

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

 naD  

 **14.** Calcular, para cada  $n \in \mathbb{N}$ , el resto de dividir por 18 a

$$6 \cdot 35^n + 73^{3021} + \sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!$$

 ¡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](#) ↑

Simplifiquemos esa expresión espantosa calculando el  $r_{18}$  y aplicando las propiedades:

$$r_{18}(6 \cdot 35^n + 73^{3021} + \sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!) \stackrel{!}{=} r_{18}(6 \cdot (-1)^n + 1^{3021} + r_{18}(\sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!))$$

$$\stackrel{\star^1}{=} \begin{cases} r_{18}(7 + r_{18}(\sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!)) & \text{si } n \text{ es par} \\ r_{18}(-5 + r_{18}(\sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!)) & \text{si } n \text{ es impar} \end{cases}$$

La para está ahora en calcular:  $r_{18}(\sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!)$

Dado que tiene un 3 ahí dando vueltas y que la  $k!$  en algún momento tendrá el factor  $6 = 3! = 2 \cdot 3$ , es esperable que el término general de la sumatoria sea un múltiplo de 18.

Acomodo la expresión:

$$r_{18}(\sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!) = r_{18}(3 + \sum_{k=2}^n 3^k \cdot k!) \stackrel{\star^2}{=} 3 + r_{18}(\sum_{k=2}^n 3^k \cdot k!)$$

A ojo se puede ver que  $r_{18}(\sum_{k=2}^n 3^k \cdot k!) = 0 \quad \forall n \in \mathbb{N}_{\geq 2}$  Pero como no sabemos si el que nos corrige está de mal humor probemos eso por inducción:

Quiero probar que:

$$p(n) : r_{18}(\sum_{k=2}^n 3^k \cdot k!) = 0 \quad \forall n \in \mathbb{N}_{\geq 2}$$

*Caso base:*

$$p(2) : r_{18}(\sum_{k=2}^2 3^k \cdot k!) = r_{18}(3^2 \cdot 2) = 0$$

Por lo que el caso  $p(2)$  es verdadero.

*Paso inductivo:* Asumo que para algún  $k \geq 2$

$$p(h) : r_{18}(\underbrace{\sum_{k=2}^h 3^k \cdot k!}_{\text{hipótesis inductiva}}) = 0$$

es verdadero. Y quiero probar que:

$$p(h+1) : r_{18}(\sum_{k=2}^{h+1} 3^k \cdot k!) = 0$$

también lo sea.

Partiendo de  $p(h+1)$

$$\begin{aligned} r_{18}(\sum_{k=2}^{h+1} 3^k \cdot k!) &= r_{18}(\sum_{k=2}^h 3^k \cdot k! + 3^{h+1} \cdot (h+1)!) \\ &\stackrel{\text{HI}}{=} r_{18}(3^{h+1} \cdot (h+1)!) \\ &\stackrel{!}{=} r_{18}(3 \cdot 6 \cdot 3^h \cdot \frac{(h+1)!}{3!}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Ahí en el  $!$  me las arreglé para que aparezca el 18 que hace que el resto de 0. Debe haber otras formas de hacerlo, tenés licencia para dibujar.

Como  $p(2), p(h)$  y  $p(h+1)$  resultaron verdaderas, por criterio de inducción  $p(n)$  también lo es para todo  $n \in \mathbb{N}_{\geq 2}$

Volviendo a  $\star^2$ :

$$r_{18}(\sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!) = 3$$

por lo tanto en ★<sup>1</sup>:

$$r_{18}(6 \cdot 35^n + 73^{3021} + \sum_{k=1}^n 3^k \cdot k!) = \begin{cases} r_{18}(6 + 1 + 3) = 10 & \text{si } n \text{ es par} \\ r_{18}(-6 + 1 + 3) \stackrel{!}{=} 16 & \text{si } n \text{ es impar} \end{cases}$$

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

👤 naD GarRaz 🍷

👤 Dani Tadd 🍷

🔥15. Sean  $a, b \in \mathbb{Z}$  tales que  $(a : b) = 1$ . Calcular los posibles valores de  $(a^2 + 3b^2 : 2a^2 + 11b^2)$  y dar un ejemplo para cada uno de ellos.

Si  $d = (a^2 + 3b^2 : 2a^2 + 11b^2)$  entonces deber suceder:

$$\left\{ \begin{array}{l} d \mid a^2 + 3b^2 \\ d \mid 2a^2 + 11b^2 \end{array} \right\} \xleftrightarrow{F_2 - 2F_1 \rightarrow F_2} \left\{ \begin{array}{l} d \mid a^2 + 3b^2 \\ d \mid 5b^2 \end{array} \right\} \quad \text{y} \quad \left\{ \begin{array}{l} d \mid a^2 + 3b^2 \\ d \mid 2a^2 + 11b^2 \end{array} \right\} \xleftrightarrow{11F_1 - 3F_2 \rightarrow F_2} \left\{ \begin{array}{l} d \mid a^2 + 3b^2 \\ d \mid 5a^2 \end{array} \right\}$$

De esta forma queda que el MCD:

$$d = (5a^2 : 5b^2) \Leftrightarrow d = 5(a^2 : b^2) \Leftrightarrow d = 5(a : b)^2 \xleftrightarrow{a \perp b} d = 5$$

Si el *máximo común divisor* de  $(a^2 + 3b^2 : 2a^2 + 11b^2)$  es 5, los valores que puede *potencialmente* tomar la expresión son:

$$\{1, 5\}$$

*División por 1:*

El uno está por ejemplo para el par  $(a, b) = (1, 2)$  donde  $a \perp b$ .

*División por 5:*

|            |   |   |   |   |   |
|------------|---|---|---|---|---|
| $r_5(a)$   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $r_5(a^2)$ | 0 | 1 | 4 | 4 | 1 |

y

|             |   |   |   |   |   |
|-------------|---|---|---|---|---|
| $r_5(b)$    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $r_5(3b^2)$ | 0 | 3 | 2 | 2 | 3 |

y

|                   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|
| $r_5(a^2 + 3b^2)$ | 0 | 4 | 1 | 1 | 4 |
|-------------------|---|---|---|---|---|

Ese resultado dice que para que suceda que  $5 \mid a^2 + 3b^2$  se requiere que:

$$a \equiv 0 \pmod{5} \quad \text{y} \quad b \equiv 0 \pmod{5}$$

Peeeeero, por enunciado  $(a : b) = 1$  así que se concluye que no hay par de  $(a, b)$  con  $a \perp b$  tal que  $5 \mid a^2 + 3b^2$ .

Así que el único valor que puede tomar la expresión  $(a^2 + 3b^2 : 2a^2 + 11b^2)$  es 1.

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

👤 Ale Teran 🍷

👤 naD GarRaz 🍷

🔥16. Calcular el resto de dividir

$$\sum_{k=4}^{134} (k! + k^3)$$

por 7.

Nos piden calcular el resto 7 de esa porquería:

$$\sum_{k=4}^{134} (k! + k^3) = \sum_{k=4}^{134} k! + \sum_{k=4}^{134} k^3$$

🍷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 ↑](#)



Arranco por estudiar  $\sum_{k=4}^{134} k^3$ . Tabla de restos 7 de  $k^3$ :

|            |   |   |   |   |   |   |   |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|
| $r_7(k)$   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $r_7(k^3)$ | 0 | 1 | 1 | 6 | 1 | 6 | 6 |

Pensar que  $6 \equiv -1 \pmod{7}$  y eso nos ayuda a anular muchas cosas:

$$\sum_{k=4}^{134} k^3 = \underbrace{4^3 + 5^3 + 6^3 + 7^3 + 8^3 + \cdots + 130^3 + 131^3 + 132^3 + 134^3}_{131 \text{ términos}}$$

Todos esos términos tienen  $r_7$  igual a 0, 1 o -1. Sumando 7 términos consecutivos se obtiene como resultado 0. Organizo los términos teniendo en cuenta que  $131 = 18 \cdot 7 + 5$ , es decir que tengo 18 sumas de 7 términos que dan 0 y me sobran los últimos 5 términos:

$$\begin{aligned} \sum_{k=4}^{134} k^3 &= 4^3 + 5^3 + 6^3 + 7^3 + 8^3 + 9^3 + 10^3 + \cdots + 126^3 + 124^3 + 125^3 + 126^3 + 127^3 + 128^3 + 129^3 + 130^3 + 131^3 + 132^3 + 133^3 + 134^3 \\ &\equiv \underbrace{1 + (-1) + (-1) + 0 + 1 + 1 + (-1)}_{=0} + \cdots + \underbrace{1 + (-1) + (-1) + 0 + 1 + 1 + (-1)}_{=0} + \underbrace{1 + (-1) + (-1) + 0 + 1}_{=0} \pmod{7} \\ &\stackrel{!}{=} 18 \cdot 0 + 0 \pmod{7} \equiv 0 \pmod{7} \end{aligned}$$

Se concluye que:

$$r_7\left(\sum_{k=4}^{134} k^3\right) = 0 \quad \star^1$$

Ahora quiero ver qué onda con  $\sum_{k=4}^{134} k!$ .

Noto primero que cuando  $k \geq 7$  el número  $k!$  es un múltiplo de 7, es decir:


$$k! \equiv 0 \pmod{7} \quad \text{con } k \in \mathbb{N}_{\geq 7}$$

Por lo tanto me quedaría con los primeros 3 términos:

$$\sum_{k=4}^{134} k! = 4! + 5! + 6! + \underbrace{0 + \cdots + 0}_{131 \text{ términos igual a } 0} \equiv 3 + 1 + 6 \pmod{7} \equiv 3 + 1 + 6 \pmod{7} \equiv 3 \pmod{7} \star^2$$


Por último juntando los resultados de  $\star^1$  y  $\star^2$ :

$$r_7\left(\sum_{k=4}^{134} (k! + k^3)\right) = 3$$

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

 naD GarRaz 

 Juan Parajó 

 **17.** Hallar todos los valores de  $a \in \mathbb{Z}$  tales que  $(3a + 6 : 7a^2 - a - 3) \neq 1$ .

Si el mcd es  $d$ :

$$d = (3a + 6 : 7a^2 - a - 3)$$

Puedo usar Euclides para simplificar la expresión del mcd:

$$\begin{array}{r|l} 7a^2 & -a & -3 & 3a+6 \\ -7a^2 & -14a & & \frac{7}{3}a-5 \\ \hline & -15a & -3 & \\ & 15a & +30 & \\ \hline & & & 27 \end{array}$$

Por lo tanto  $d$  queda:

$$d = (3a + 6 : 7a^2 - a - 3) = (3a + 6 : 27)$$

Por lo tanto como  $d \mid 27$ :

$$d \in \{1, 3, 9, 27\} = \{1, 3, 3^2, 3^3\}$$

¿Para que valor de  $a$  valdrá  $d = 1$ ? Empiezo a ver si es divisible por 3:

Tabla de restos para  $d = 3$ :

| $r_3(a)$            | 0 | 1 | 2 |
|---------------------|---|---|---|
| $r_3(3a + 6)$       | 0 | 0 | 0 |
| $r_3(7a^2 - a - 3)$ | 0 | 0 | 2 |


No son ambas expresiones divisibles por 3 cuando

$$a \equiv 2 \pmod{3}$$

Dado que los otros posibles divisores (9, 27) son potencias de 3, se concluye que:


$$d \neq 1 \iff \begin{cases} a \equiv 0 \pmod{3} \\ \text{o} \\ a \equiv 1 \pmod{3} \end{cases}$$

Dado que para esos valores de  $a$  la expresión  $7a^2 - a - 3$  no es divisible por ninguna potencia de 3.

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

 naD GarRaz 

 Dani Tadd 

 **18.** Hallar todos los pares  $(a, b) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N}$  que cumplen las siguientes condiciones en simultáneo:

$$27 \nmid a$$

$$(a : b) = 42$$

$$[a : 5b] = 13230$$

A lo largo de este ejercicio mucho de lo que voy a usar son esas frases del secundario:

*El máximo común divisor entre 2 números son los factores (de la factorización en primos) comunes elevados al menor exponente.*


*El mínimo común múltiplo entre 2 números son los factores (de la factorización en primos) comunes y los no comunes elevados al mayor exponente.*

Del enunciado se deduce que:

$$3^3 \nmid a,$$


o sea que quizás  $3^1, 3^2$  sí divida a  $a$ . También tenemos que el máximo común divisor:

$$(a : b) = 2 \cdot 3 \cdot 7$$



Esto nos dice que en la factorización de  $a$  y de  $b$  hay factores  $2^\alpha, 3^\beta$  y  $7^\gamma$  <sup>1</sup>, donde esos exponentes son  $\geq 1$ . Por último el dato del mínimo común múltiplo:

$$[a : 5b] = 2^1 \cdot 3^3 \cdot 5^1 \cdot 7^2,$$

¿Qué nos dice el  $2^1$ ?:

Como sabemos de <sup>1</sup> que tanto  $a$  como  $b$  tienen a 2 como un factor y ahora en el mcm tiene exponente 1. Esto determina que tanto  $a$  como  $b$  tienen  $2^1$  como factor y ninguna potencia de 2 superior en su factorización en primos.

¿Qué nos dice el  $3^3$ ? <sup>2</sup>:

 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](#) 

Parecido a lo anterior.  $\star^1$  nos dice que el 3 está en  $a$  y  $b$ . Acá hay que tener presente que  $a \nmid 3^3$ . Ahora se *determina* el exponente exacto del factor 3 de  $b$  que será 3, y el de  $a$  será 1 sino en el máximo común divisor habría un exponente mayor en el factor 3.

¿Qué nos dice el  $5^1$ ?:

Sale que  $b$  no tiene 5 es su factorización, porque de tenerlo, el 5 del mcm tendría un exponente mayor debido al 5 que se enchufó ahí de prepo en el  $[a : 5b]$ . Y a su vez sale que  $a$  tiene que tener un  $5^\delta$  con  $0 \leq \delta \leq 1$  en su factorización

¿Qué nos dice el  $7^2$ ?:

Parecido a lo que salió en  $\star^2$ . En este caso  $\star^1$  nos dice que el 7 está en  $a$  y  $b$ . Ahora tampoco se *determina* el exponente exacto, pero sí sabemos que  $a$  y  $b$  tienen un factor  $7^\gamma$  con  $1 \leq \gamma \leq 2$  en su factorización en primos, pero por  $\star^1$  no pueden tener ambos 2 a la vez.


Recopilando la información de eso:

$$\begin{aligned}(a, b) &= (2^1 \cdot 3^1 \cdot 5^1 \cdot 7^2, 2^1 \cdot 3^3 \cdot 7^1) = (1470, 378) \\(a, b) &= (2^1 \cdot 3^1 \cdot 5^1 \cdot 7^1, 2^1 \cdot 3^3 \cdot 7^2) = (210, 2646) \\(a, b) &= (2^1 \cdot 3^1 \cdot 5^0 \cdot 7^2, 2^1 \cdot 3^3 \cdot 7^1) = (294, 378) \\(a, b) &= (2^1 \cdot 3^1 \cdot 5^0 \cdot 7^1, 2^1 \cdot 3^3 \cdot 7^2) = (42, 2646)\end{aligned}$$


*Nota que puede ser relevante:*

Suponiendo que lo que hice está bien,  $a \cdot b = (a : b) \cdot [a : b]$ , tiene que valer, pero acordate que en el enunciado metieron un 5 ahí que no está ni en  $a$  ni en  $b$ , ojo con eso.

*Fin de nota que puede ser relevante:*

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

 naD  GarRaz 

 **19.** Probar que  $6^{2n} - 35n - 1$  es divisible por 245 para todo  $n \in \mathbb{N}$ .

Noto que:

$$245 = 5^2 \cdot 7$$

Los que nos piden se puede escribir como:

$$6^{2n} - 35n - 1 \equiv 0 \pmod{245}$$

*Inducción:*

Quiero probar que:

$$p(n) : 6^{2n} - 35n - 1 \equiv 0 \pmod{245} \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

*Caso base:*

$$p(1) : 6^{2 \cdot 1} - 35 \cdot 1 - 1 = 0 \equiv 0 \pmod{245}$$

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

*Paso inductivo:* Asumo que

$$p(k) : \underbrace{6^{2 \cdot k} - 35 \cdot k - 1 \equiv 0 \pmod{245}}_{\text{hipótesis inductiva}}$$

es verdadera para algún  $k \in \mathbb{N}$ . Entonces quiero probar que:

$$p(k+1) : 6^{2 \cdot (k+1)} - 35 \cdot (k+1) - 1 \equiv 0 \pmod{245}$$

Partiendo de esto último:

$$6^{2 \cdot (k+1)} - 35 \cdot (k+1) - 1 = 36 \cdot 6^{2k} - 35k - 35 - 1 = 36 \cdot (6^{2k} - 1) - 35k \equiv 0 \pmod{245} \star^1$$

Acomodo la **hipótesis inductiva**:


$$6^{2k} - 35 \cdot k - 1 \equiv 0 \pmod{245} \iff 6^{2k} - 1 \equiv 35k \pmod{245} \star^2$$

Uso  $\star^2$  eso en  $\star^1$


$$36 \cdot (35k) - 35k = 35^2 k = 5^2 \cdot 7^2 = 245 \cdot 7 \equiv 0 \pmod{245} \star^1$$

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

Dado que  $p(1)$ ,  $p(k)$ ,  $p(k+1)$  resultaron verdaderas por 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 

 **20.** Sea  $n \in \mathbb{N}$  con  $n \equiv 2 \pmod{6}$ . Hallar los posibles valores de  $(2n^4 + 6n^2 + 10 : n^3 + 2n)$  y dar un ejemplo para cada uno.

Bautizo al MCD:

$$d = (2n^4 + 6n^2 + 10 : n^3 + 2n)$$

Según Euclides:

$$\begin{array}{r|l} 2n^4 + 6n^2 + 10 & n^3 + 2n \\ - 2n^4 - 4n^2 & 2n \\ \hline & 2n^2 + 10 \end{array}$$

Por lo que:

$$d = (2n^4 + 6n^2 + 10 : n^3 + 2n) = (n^3 + 2n : 2n^2 + 10)$$

Limpiando un poco eso:

$$\left\{ \begin{array}{l} d \mid n^3 + 2n \\ d \mid 2n^2 + 10 \end{array} \right\} \xrightarrow{2F_1 - nF_2 \rightarrow F_1} \left\{ \begin{array}{l} d \mid 6n \\ d \mid 2n^2 + 10 \end{array} \right\} \xrightarrow{3F_2 - nF_1 \rightarrow F_2} \left\{ \begin{array}{l} d \mid 6n \\ d \mid 30 \end{array} \right\}$$

Si  $d = (6n : 30)$  entonces los *potenciales* posibles valores para el MCD serían:

$$d \in \{1, 2, 3, 5, 6, 10, 15, 30\}$$

Teniendo en cuenta que los valores de  $n$  que interesan son:

$$n \equiv 2 \pmod{6} \xleftrightarrow[\star^1]{\text{def}} n \in \{k \in \mathbb{Z}_{\geq 0} : 6k + 2\}$$

Los  $n$  son siempre par, descartando así los valores  $\{1, 3, 5, 15\}$ . Esto porque siempre va a estar el 2 como factor en  $d$ , ya que  $d \mid 6n$ .

Similarmente:

$$6 \mid 6n,$$

por lo tanto el 2 no puede ser MCD, porque el 6 siempre va a ser un divisor común y obviamente  $6 > 2 \ominus$ . Hasta el momento los posibles valores que puede tomar el MCD,  $d$ :

$$d \in \{6, 10, 30\}$$

Me parece que  $d = 10$  no va a ser un  $d$ , ya que si encuentro algún  $n$  es divisible por 5, ocurre lo siguiente:

$$n = 5k \implies d \mid 6 \cdot 5k = 30k,$$

por lo que tengo que eliminar al 10 de los posibles  $d$  ! Siempre que sea divisible por 10 va a ser divisible por 30.

Ahora busco ese  $n$  múltiplo de 5, para probar que 30 es un posible  $d$ :


$$\xrightarrow[\text{!}]{\star^1} n = \underbrace{6k + 2}_{\star^2} \xrightarrow[\text{es múltiplo de 5}]{\text{analizar si } n} 6k + 2 \equiv 0 \pmod{5} \Leftrightarrow k \equiv 3 \pmod{5} \xrightarrow{k=3} n \stackrel{\star^2}{=} 20$$

Es con  $n = 20$  que:


$$n = 20 \Rightarrow d \stackrel{\checkmark}{=} 30$$

Es así que los posibles valores para  $d = (2n^4 + 6n^2 + 10 : n^3 + 2n)$  son:

$$d \in \{6, 30\}, \text{ para } n \equiv 2 \pmod{6} \text{ y además } \begin{cases} \text{si } n = 2 & \Rightarrow d = 6 \\ \text{si } n = 20 & \Rightarrow d = 30 \end{cases}$$

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

 naD  GarRaz 

 **21.** Sea  $a \in \mathbb{Z}$ . Calcule todos los posibles valores de  $d = (a^2 + a : a^3 + 3a^2 + 2a + 14)$ . Para cada posibilidad de  $d$  hallada, caracterice todos los  $a \in \mathbb{Z}$  para los cuales se obtiene dicho valor de  $d$ .

Simplifico al MCD,  $d$  usando Euclides:

$$\begin{array}{r|l} a^3 + 3a^2 + 2a + 14 & a^2 + a \\ -a^3 & -a^2 \\ \hline & 2a^2 + 2a \\ -2a^2 & -2a \\ \hline & 14 \end{array}$$

Por lo tanto:

$$d = (a^2 + a : 14) \Rightarrow \begin{cases} d \mid a^2 + a \\ y \\ d \mid 14 \end{cases} \quad d \in \{1, 2, 7, 14\}$$

*Tabla de restos:*

Empiezo por los números menores.

¿ $d = 2$  divide las expresiones?:

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| $r_2(a)$       | 0 | 1 |
| $r_2(a^2 + a)$ | 0 | 0 |

Se concluye que el 2 es un *divisor común* para cualquier valor de  $a$ . Peeeeero como yo quiero al *MAYOR divisor común*, sigo probando con los otros posibles valores de  $d$ .

¿ $d = 7$  divide las expresiones?:

|                |   |   |   |   |   |   |   |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|
| $r_2(a)$       | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $r_2(a^2 + a)$ | 0 | 2 | 6 | 5 | 6 | 2 | 0 |

Se concluye que el 7 es un *divisor común* para:

$$a \equiv 0 \pmod{7} \quad \text{o} \quad a \equiv 6 \pmod{7}$$

¿ $d = 14$  divide las expresiones?:


No hace falta hacer la tabla. ¿Por qué?

Bueno, resulta que 14 va a ser un *divisor común* ¡Cuando tanto 2 y 7 lo sean! Por lo tanto 14 es un *divisor común* cuando:


$$a \equiv 0 \pmod{7} \quad \text{o} \quad a \equiv 6 \pmod{7}$$

Vamos redondeando. Los valores de el MCD,  $d$  van a ser:

$$d = \begin{cases} 14 & \Leftrightarrow \begin{cases} a \equiv 0 \pmod{7} \\ \text{o} \\ a \equiv 6 \pmod{7} \end{cases} \\ 2 & \Leftrightarrow \text{otro caso} \end{cases}.$$

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

 [naD GarRaz](#) 

 [Dani Tadd](#) 