

Efectos de la curvatura espacial en la cosmología de quintaesencia exponencial

Basado en: Exponential Quintessence: curved, steep and stringy?

Autores: David Andriot, Susha Parameswaran, Dimitrios Tsimpis, Timm Wrase, Ivonne Zavala.

Presentado por: John Jairo Socha Maldonado



Uptc[®]
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



CoCo 2024: Cosmology in Colombia

06/12/2024

De la constante cosmológica a la energía oscura dinámica

¿Por que no parece ser suficiente el modelo Λ CDM?

- El problema de ajuste fino
- El problema de coincidencia
- Discrepancias en el valor de la constante de Hubble.

El modelo de quintaesencia con un campo escalar

¿En que consiste el modelo de quintaesencia exponencial que se explora?

- Un solo campo escalar $\phi(t)$, un potencial exponencial $V(\phi) = V_0 e^{-\lambda\phi}$

(Ratra y Peebles, Phys. Rev. D 37 (1988) 3406.)

$$\mathcal{S} = \int d^4x \sqrt{|g_4|} \left(\frac{M_p^2}{2} \mathcal{R}_4 - \frac{1}{2} (\partial\phi)^2 - V(\phi) \right)$$

- El parámetro de la ecuación de estado puede variar en el tiempo:

$$w_{\text{DE}} = w_\phi = \frac{\frac{1}{2}\dot{\phi}^2 - V(\phi)}{\frac{1}{2}\dot{\phi}^2 + V(\phi)}$$

De acuerdo con la literatura para este modelo, con $k = 0$, $\lambda < \sqrt{2}$.

(Agrawal et al., Phys. Lett. B 784 (2018) 271–276.)

La dinámica del universo

- La primera ecuación de Friedmann: $\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{k}{a^2} = \frac{1}{3} (\rho_m + \rho_\phi + \rho_r)$
- La ecuación de movimiento para el campo: $\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + \frac{dV(\phi)}{d\phi} = 0$
- La ecuación de continuidad: $\dot{\rho}_n + 3H(\rho_n + p_n) = 0$.

El sistema dinámico del modelo

- Se introducen las variables dinámicas: $x = \frac{\phi'}{\sqrt{6}}$, $y = \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{3H}}$, $z = \frac{\sqrt{-k}}{aH}$, $u = \frac{\sqrt{\rho_r}}{\sqrt{3H}}$,
- Se determina el conjunto de ecuaciones:

$$x' = \sqrt{\frac{3}{2}} y^2 \lambda + x \left(3(x^2 - 1) + z^2 + \frac{3}{2} \Omega_m + 2u^2 \right),$$

$$y' = y \left(-\sqrt{\frac{3}{2}} x \lambda + 3x^2 + z^2 + \frac{3}{2} \Omega_m + 2u^2 \right),$$

$$z' = z \left(z^2 - 1 + 3x^2 + \frac{3}{2} \Omega_m + 2u^2 \right),$$

$$u' = u \left(z^2 - 2 + 3x^2 + \frac{3}{2} \Omega_m + 2u^2 \right),$$

- Se determina la siguiente condición: $\Omega_m = 1 - x^2 - y^2 - z^2 - u^2$.

- La región y condición de aceleración: $w_{\text{eff}} = x^2 - y^2 - \frac{z^2}{3} + \frac{u^2}{3}$ $w_{\text{eff}} < -\frac{1}{3}$

Puntos críticos del sistema

Punto Crítico	Ω_m	Existencia	w_{eff}
P_{kin}^{\pm}	0	$\forall \lambda$	1
P_{ϕ}	0	$\lambda < \sqrt{6}$	$\frac{\lambda^2}{3} - 1$
$P_{m\phi}$	$1 - \frac{3}{\lambda^2}$	$\lambda > \sqrt{3}$	0
P_m	1	$\forall \lambda$	$\frac{1}{3}$
P_r	0	$\forall \lambda$	1
$P_{r\phi}$	0	$\lambda > 2$	1
P_k	0	$\forall \lambda$	$-\frac{1}{3}$
$P_{k\phi}$	0	$\lambda > \sqrt{2}$	$-\frac{1}{3}$

Tabla 1: Puntos críticos para el sistema explorado.

- ❖ Solo P_{ϕ} ofrece la posibilidad de expansión acelerada asintótica, con $\lambda < \sqrt{2}$.

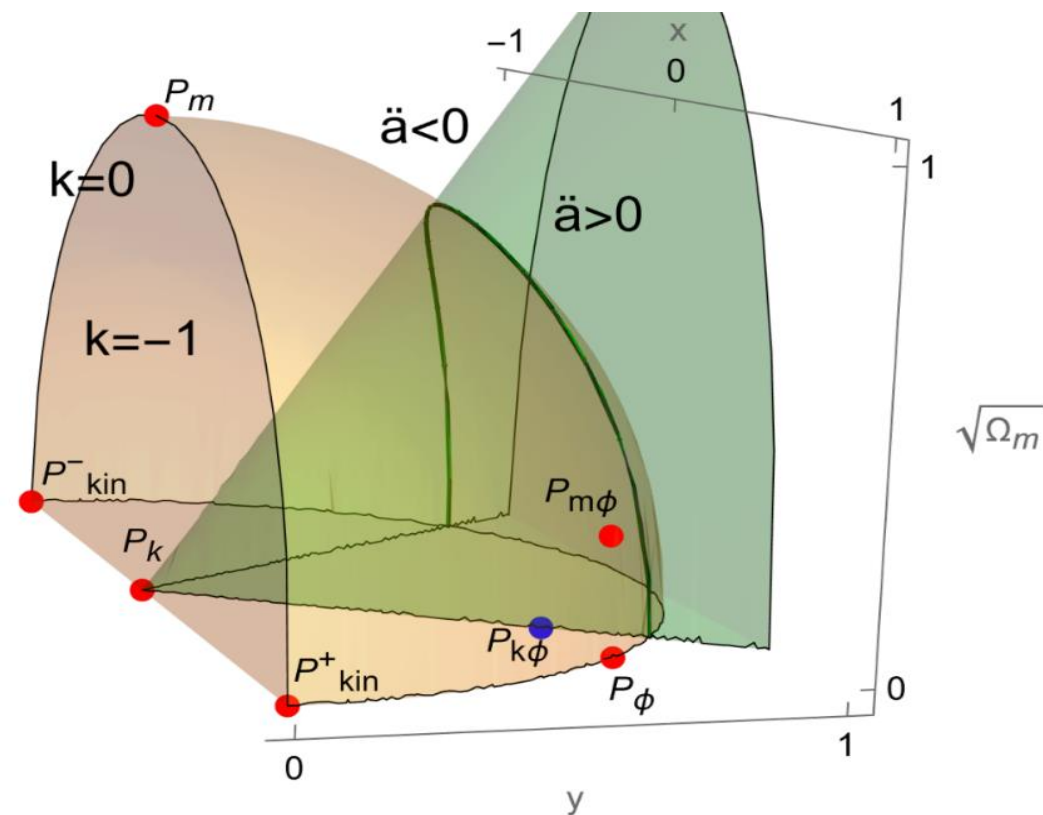
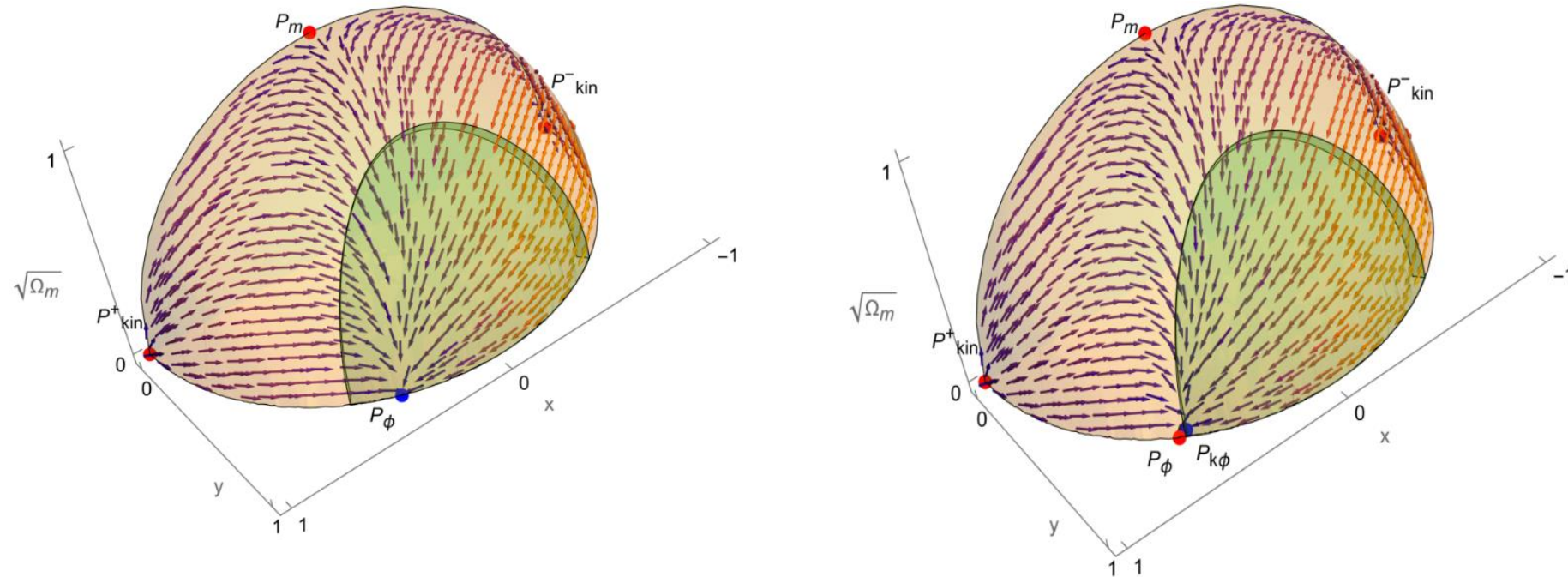


Figura 1: Puntos críticos en el espacio de fases para $\lambda = \sqrt{3} + 0.05, u = 0$.

Un vistazo a las posibles historias del universo

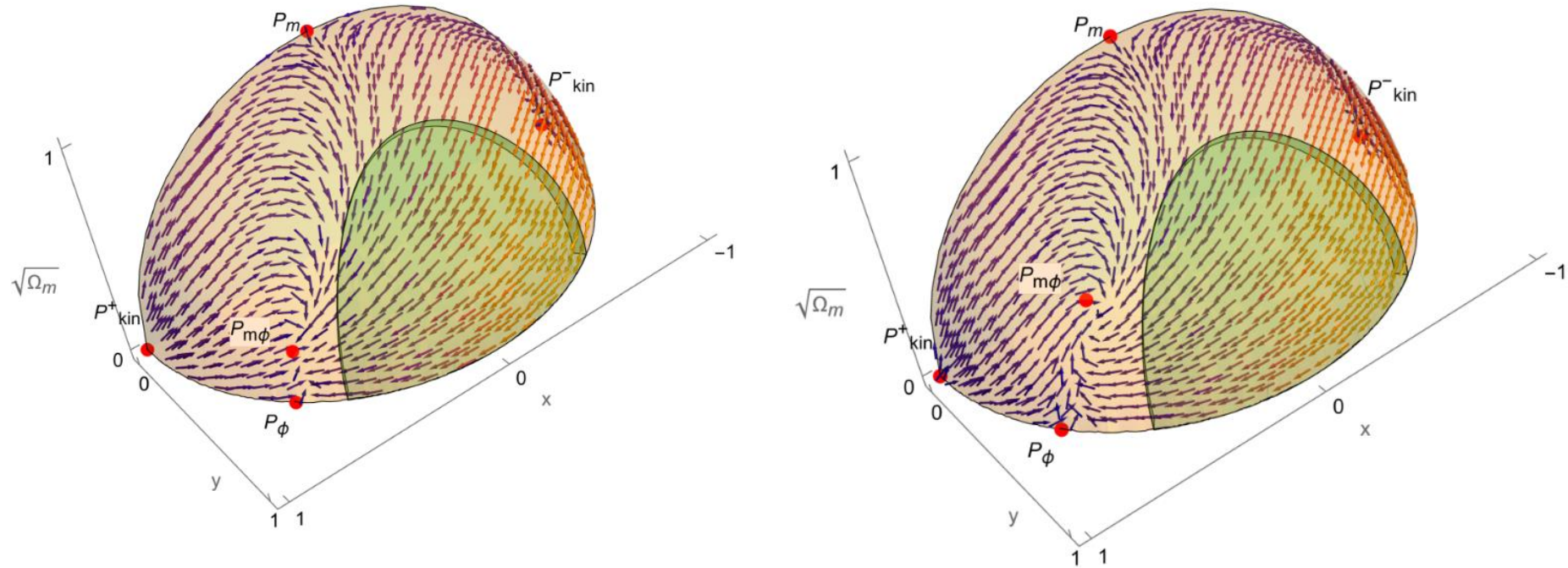
Las características en la evolución del universo cambian al variar λ



Figuras 2 y 3: Puntos críticos en el espacio de fases para $\lambda = 1, \lambda = \sqrt{2} + 0.05, u = 0$. Se considera el corte $0 \leq \Omega_k \leq 0.1$

Un vistazo a las posibles historias del universo

Parece ser que λ grandes ya no me generan soluciones realistas



Figuras 4 y 5: Puntos críticos en el espacio de fases para $\lambda = \sqrt{3} + 0.05$, $\lambda = 2$, $u = 0$. Se considera el corte $0 \leq \Omega_k \leq 0.1$

¿Hasta que valor de λ puedo obtener soluciones realistas?

¿Qué condiciones mínimas requieren las soluciones para ser realistas?

Soluciones realistas con $k = 0$

- Dado un λ , la solución se determina al especificar $(\Omega_\phi, \Omega_k, \Omega_r)$ y ω_ϕ :

$$\Omega_\phi = x^2 + y^2, \quad w_\phi = \frac{x^2 - y^2}{x^2 + y^2}, \quad \Omega_k = z^2, \quad \Omega_r = u^2, \quad \text{Andriot et al., arXiv:2405.09323 (2024).}$$

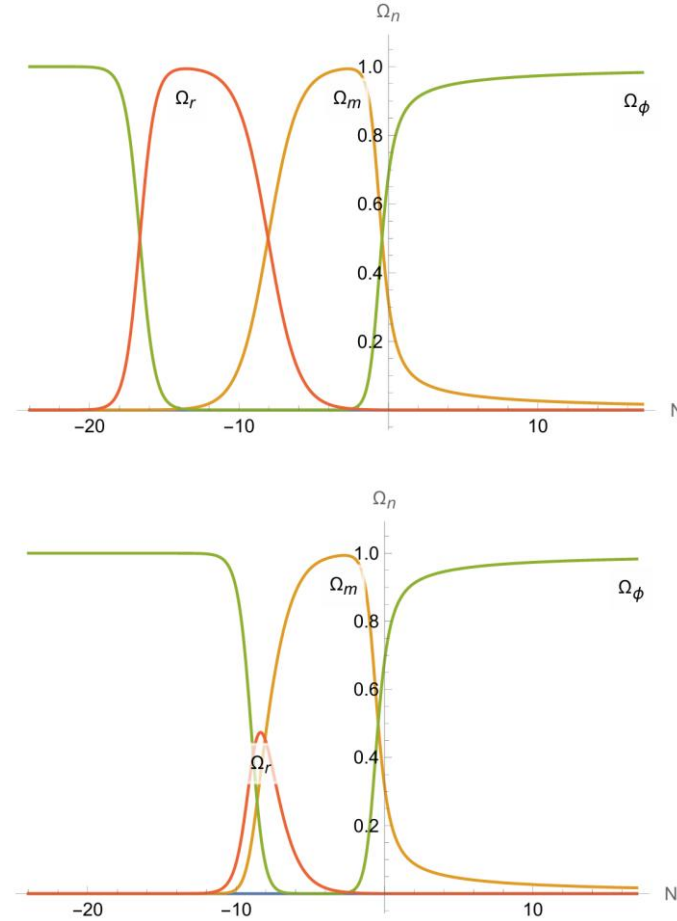
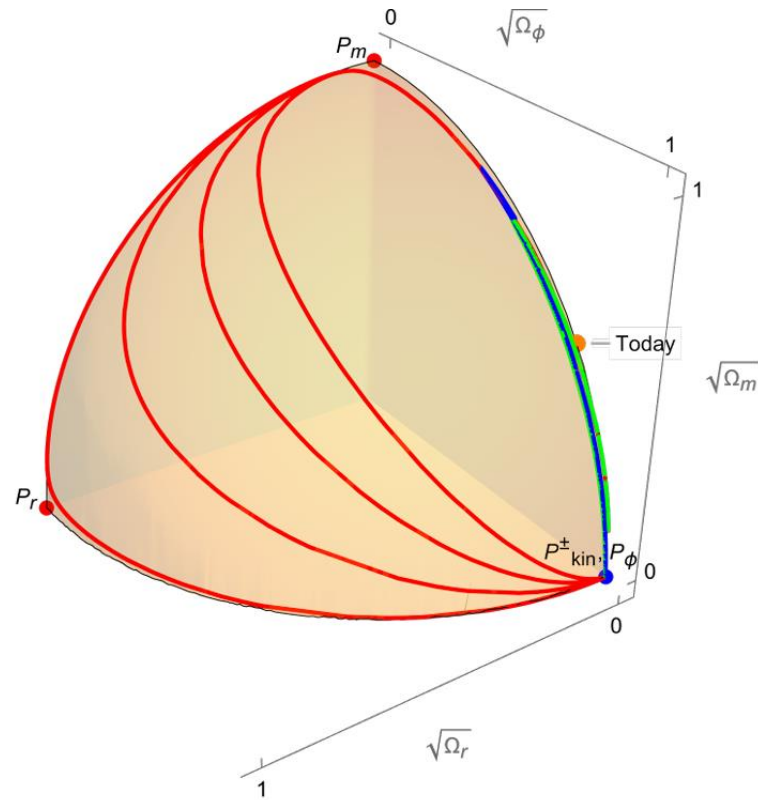
- Las soluciones deben estar en acuerdo con lo observado para el universo hoy

$$\Omega_{\phi 0} = 0.6850, \quad \Omega_{m 0} = 0.3149, \quad \Omega_{r 0} = 0.0001, \quad \Omega_k = 0, \quad \text{Schöneberg et al., JCAP 10 (2023) 039.}$$

- Requerimiento mínimo de dominio de radiación en el pasado:

$$\exists t < 0 \text{ s.t. } \Omega_r(t) \geq 0.5,$$

Implicaciones de las condiciones



$$w_{\phi 0} = -0.51073606$$

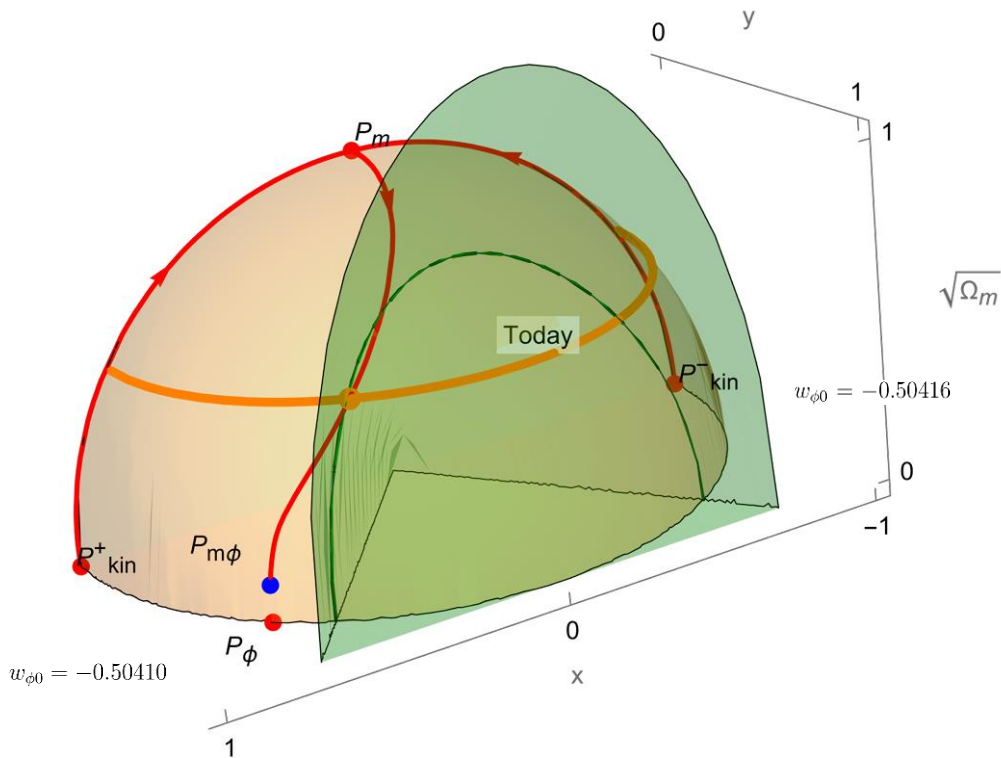
$$w_{\phi 0} = -0.510731$$

Figuras 6 : Soluciones cosmológicas para $\lambda = \sqrt{3}$.

Observaciones

Para el universo actual se toma: $x^2 + y^2 = \Omega_{\phi 0} = 0.685$

Con la condición: $w_{\text{eff}0} < -\frac{1}{3}$ $w_{\text{eff}0} \approx w_{\phi 0} \Omega_{\phi 0}$



$\lambda = 0 :$	$w_{\phi 0} \approx -1.0000 ,$
$\lambda = 1 :$	$w_{\phi 0} \approx -0.8486 ,$
$\lambda = \sqrt{2} :$	$w_{\phi 0} \approx -0.6874 ,$
$\lambda = \sqrt{8/3} :$	$w_{\phi 0} \approx -0.5719 ,$
$\lambda = \sqrt{3} :$	$w_{\phi 0} \approx -0.5107 ,$
$\lambda = 2 :$	$w_{\phi 0} \approx -0.3028 .$

- Para garantizar expansión acelerada hoy: $\lambda \lesssim \sqrt{3}$.
- Solo se permite aceleración asintótica para: $\lambda \leq \sqrt{2}$

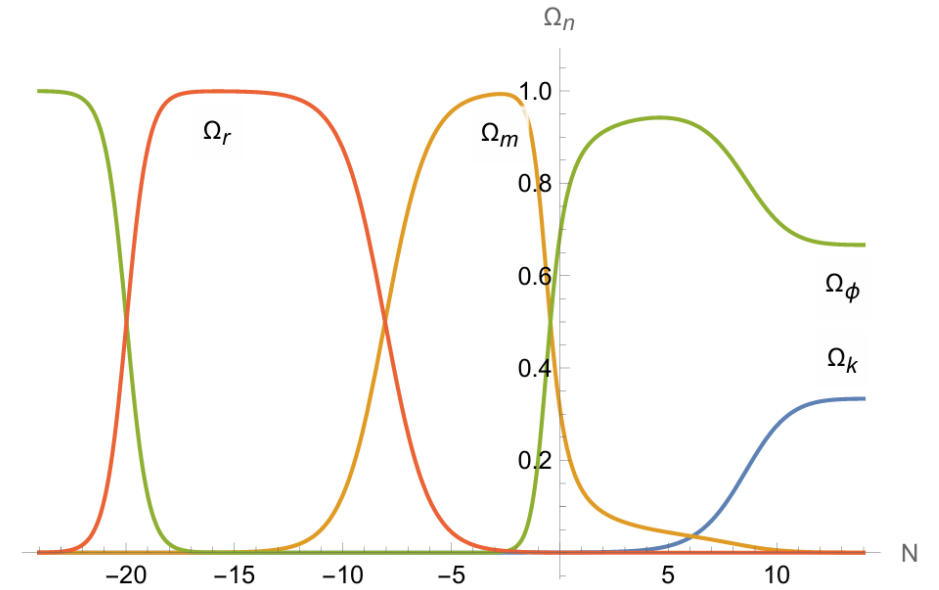
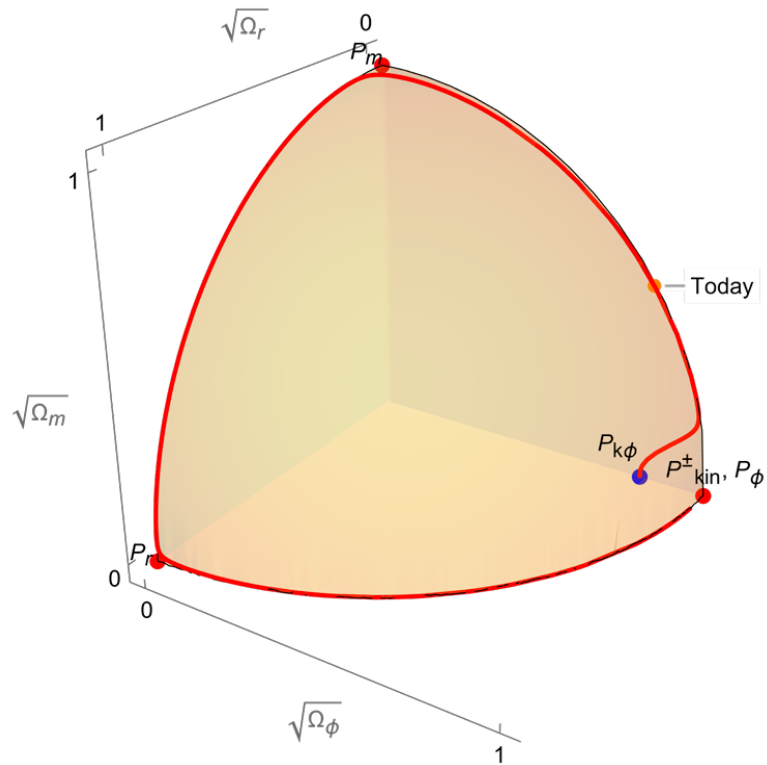
Figuras 7 : dos soluciones para $\lambda = \sqrt{3} + 0.01$.

¿Qué tan grande puede ser Ω_k ?

De acuerdo con la literatura: $0.0001 \leq \Omega_k \leq 0.09$.

Aghanim et al., *Astron. Astrophys.* 641 (2020) A6.
Bel et al., *JCAP* 09 (2022) 076.
Adame et al., *DESI 2024 VI* (2024) [2404.03002].
Aurich & Steiner, *Int. J. Mod. Phys. D* 13 (2004) 123–136.
Bennett et al., *Astrophys. J. Suppl.* 148 (2003) 1–27.

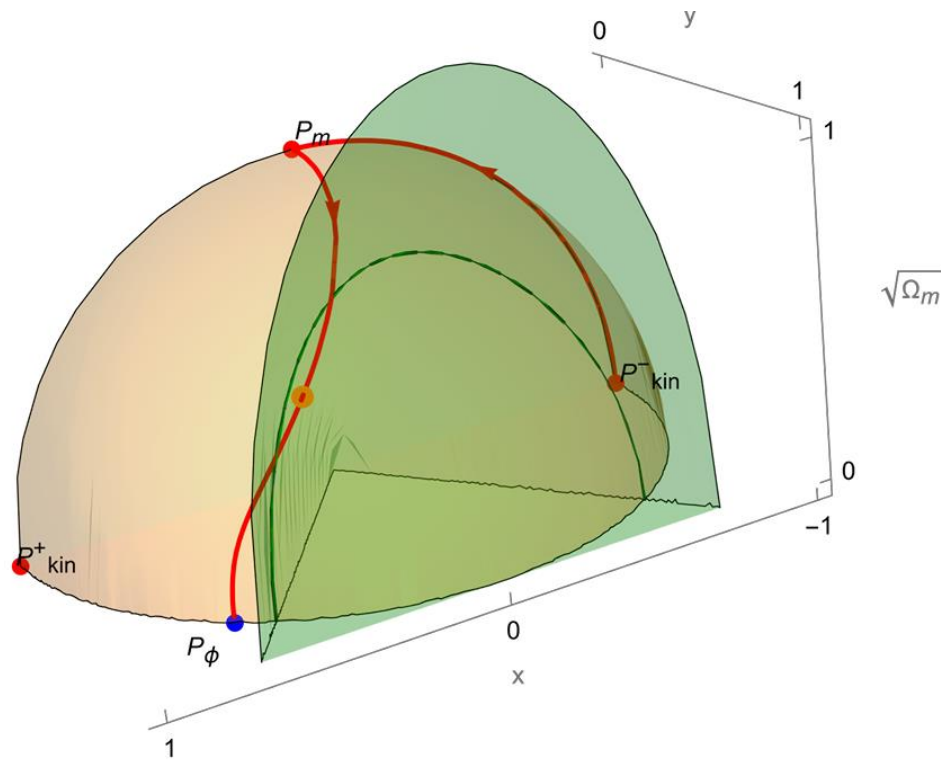
Soluciones realistas con $k = -1$



$$w_{\phi 0} = -0.51054453650$$

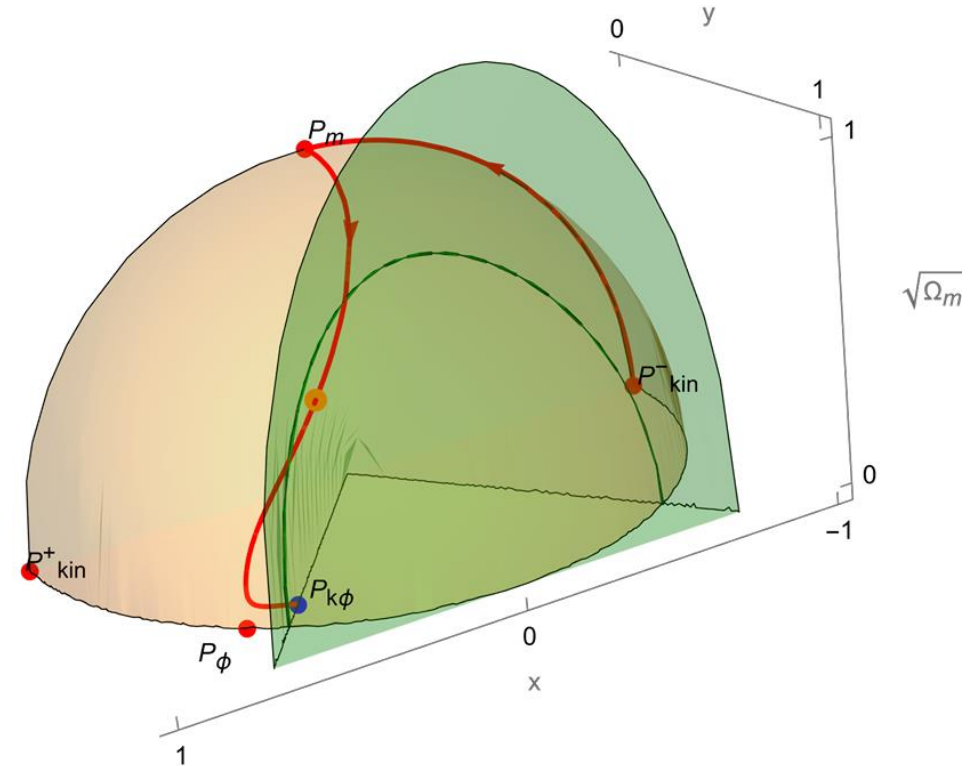
Figuras 8 : Soluciones para $\lambda = \sqrt{3}$, $\Omega_k = 0.0007$. Para el universo actual: $\Omega_{\phi 0} = 0.685$, $\Omega_{r0} = 0.0001$ and $\Omega_{m0} = 0.3149 - \Omega_{k0}$.

$k = 0$ VS $k = -1$



Figuras 9: Soluciones para $\lambda = \sqrt{8/3}$, $\Omega_k = 0$.

$$w_{\phi 0} = -0.571933 \quad N_m = -8.02.$$



Figuras 10: Soluciones para $\lambda = \sqrt{8/3}$, $\Omega_k = 0.0007$.

$$w_{\phi 0} = -0.571775 \quad N_m = -8.04.$$

Restricciones sobre λ para el universo abierto

λ	$w_{\phi 0}$ for	
	$\Omega_{k0} = 0$	$\Omega_{k0} = 0.085$
0	-1.0000	-1.0000
1	-0.8486	-0.8720
$\sqrt{2}$	-0.6874	-0.7363
$\sqrt{8/3}$	-0.5719	-0.6400
$\sqrt{3}$	-0.5107	-0.5894
2	-0.3028	-0.4231

- *Exigiendo:* $w_{\text{eff}} = w_{\phi} \Omega_{\phi} - \frac{1}{3} \Omega_k \leq -\frac{1}{3},$
- *Se tiene que:* $w_{\phi 0} \leq -\frac{1}{3\Omega_{\phi 0}}(1 - \Omega_{k0}) \approx -0.5083$
- *Lo que nos lleva a:* $\lambda \leq \sqrt{3} + 0.1407 \approx 1.8727 .$

Conclusiones

- Es posible obtener universos realistas partiendo de un modelo de quintaescencia exponencial.
- El incluir curvatura no afecta las condiciones de un universo realista ni en el pasado ni en el presente.
- El modelo con curvatura permitió extender el límite superior para λ

MUCHAS GRACIAS