

The Branch Cut Universe: desde el origen del universo hasta la formación de agujeros negros

César A. Zen Vasconcellos[†], Peter O. Hess, Dimiter Hadjimichef, Benno Bodmann, Moisés Razeira, and Guilherme L. Volkmer

[†]UFRGS/ICRANet

cesarzen@cesarzen.com

December 7, 2021

Predicciones de las Ecuaciones de Friedmann:

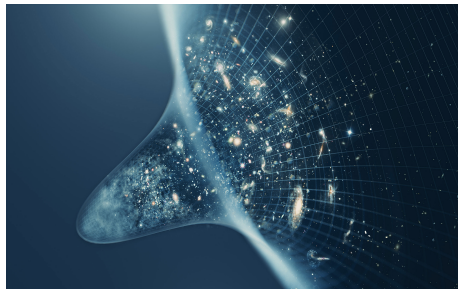


Figure: Ecuaciones de Friedmann: conjunto cerrado de ecuaciones que relacionan el factor de escala $a(t)$, la densidad de energía $\rho(t)$ y la presión $p(t)$ del Universo. Modelo cosmológico estándar de la Relatividad General. La métrica de Friedmann & Lemaître & Robertson & Walker.

- Nuestro universo empezó como una explosión de un punto en el espacio-tiempo, una **singularidad**, que contenía toda la energía y materia cósmica.
- A medida que retrocedemos en el tiempo hasta su origen, el universo se volvería progresivamente más caliente, más denso y en expansión más rápida, culminando en una singularidad espacio-temporal (13.700 millones de años): eso define el big bang.

Consecuencias de la existencia de una singularidad:

- Una singularidad es una ruptura discontinua en el espacio-tiempo, en su geometría o en cantidades físicas. Discontinuidades no son físicas.
- La Relatividad General no solo admite la presencia de singularidades, sino que nos dice que pueden ser inevitables.
- Los modelos teóricos solo permiten especulaciones sobre cómo prevenir las singularidades. ¿La cuantificación es la solución? Modelos alternativos a RG.
- Necesitamos comprender la ontología de las singularidades si queremos comprender la naturaleza del espacio y el tiempo.
- La presencia de singularidades puede ser devastadora para las leyes físicas.
 - Implica una pérdida de lógica descriptiva, de coherencia formal y de previsibilidad.
 - Necesitamos desarrollar métodos para superar la presencia de singularidades. Resolver las interrupciones del espacio-tiempo en torno a una singularidad. Hacer que el espacio-tiempo sea continuo. Sin discontinuidades.

En este trabajo desarrollamos un método para superar la singularidad primordial del universo

Líneas analíticas del presente estudio:

- **Enfoque clásico:** aplicamos las herramientas de la geometría singular semi-Riemanniana para empujar los límites de la Relatividad General, del tiempo y del espacio más allá de la singularidad primordial.
- **Enfoque cuántico:**
 - Versión analíticamente continua de la ecuación *renormalizable* de Wheeler De Witt (WdW);
 - Contribuciones de la curvatura del universo de ordenes superiores.
- Referencias:
 - 1. Pushing the limits of time beyond the Big Bang singularity: Scenarios for the branch cut universe. C.A.Z.V. & B.B. and others. *Astronomische Nachrichten*. 2021. <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15213994>
 - 2. Pushing the limits of time beyond the Big Bang singularity: The branch cut universe. C.A.Z.V. & B.B. and others. *Astronomische Nachrichten*. 2021. <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15213994>
 - 3. Pushing the limits of General Relativity beyond the Big Bang singularity. C.A.Z.V. & B.B. and others. *Astronomische Nachrichten*. 2020. <https://doi.org/10.1002/asna.201913748>

Branch-cut Universe - Enfoque clásico

- Motivación:
 - Superar las predicciones de la RG sobre la presencia de una singularidad en el origen del universo.
 - Proporcionar un enfoque alternativo a la inflación.
- Pasos. Combinación de:
 - La concepción del multiverso (S. Hawking y T. Hertog) de un conjunto hipotético de múltiples universos, que existen en paralelo;
 - La técnica de continuación analítica;
 - El principio de superposición para sistemas lineales independientes.

La concepción del multiverso explora los puntos de confluencia entre la mecánica cuántica y la Relatividad General.

- Complejificación de la métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker que da como resultado un conjunto cerrado de ecuaciones de campo (similes a las ecuaciones de Friedmann, pero complejas) con múltiples singularidades.
- Imposición de que las múltiples singularidades de las ecuaciones de campo están confinadas al mismo universo combinado con una suma de Riemann para aproximar las ecuaciones de campo a integrales definidas.

$a(t)$: factor de escala cósmico, parámetro clave de las ecuaciones de Friedmann.

- $a(t)$: factor de escala cósmico, o factor de escala de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker - parámetro clave de las ecuaciones de Friedmann.
- La expansión relativa del universo está parametrizada por el factor de escala adimensional y real $a(t)$.

Nuestro resultado:

$$a(t) \iff \ln^{-1}[\beta(t)]. \quad (1)$$

La function $\ln^{-1}[\beta(t)]$ también es adimensional pero complejo. Y representa un corte de rama: una suma de un número infinito de polos dispuestos a lo largo de una línea en el plano complejo con residuos infinitesimales.

Ecuaciones reales de Friedmann

$$\left(\frac{\dot{a}(t)}{a(t)}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho(t) - \frac{kc^2}{a(t)} + \frac{1}{3}\Lambda; \quad (2)$$

$$\left(\frac{d^2 a(t)}{dt^2 a(t)}\right) = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho(t) + \frac{3}{c^2}p(t)\right) + \frac{1}{3}\Lambda; \quad (3)$$

Ecuaciones complejas de Friedmann

$$\left(\frac{\dot{\ln^{-1}[\beta(t)]}}{\ln^{-1}[\beta(t)]}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho(t) - \frac{kc^2}{\ln^{-1}[\beta(t)]} + \frac{1}{3}\Lambda; \quad (4)$$

$$\left(\frac{d^2 \ln^{-1}[\beta(t)]}{dt^2 \ln^{-1}[\beta(t)]}\right) = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho(t) + \frac{3}{c^2}p(t)\right) + \frac{1}{3}\Lambda; \quad (5)$$

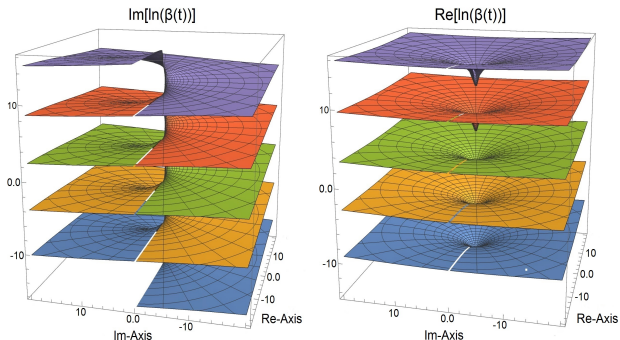
Tasa de Hubble

$$\begin{aligned}\dot{H}_{\text{ac}}(t) &= -H_{\text{ac}}^2(t) \left(1 - \frac{1}{H_{\text{ac}}^2(t)} \left[\frac{d^2 a(t)}{dt^2} \right] \right), \\ &\equiv H_{\text{ac}}^2(1 + q_{\text{ac}}),\end{aligned}\quad (6)$$

Tasa de Hubble compleja (analíticamente continuada)

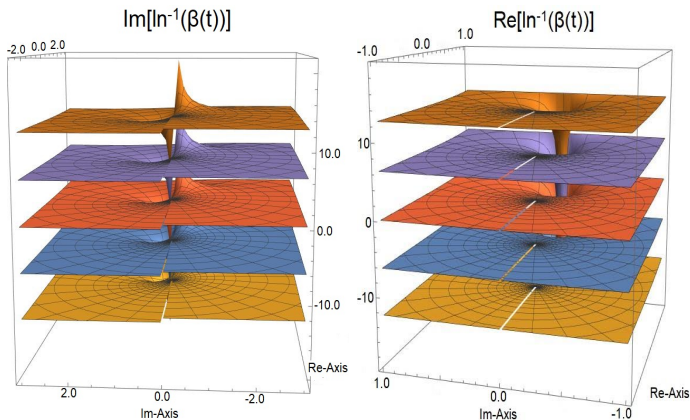
$$\begin{aligned}\dot{H}_{\text{ac}}(t) &= -H_{\text{ac}}^2(t) \left(1 - \frac{1}{H_{\text{ac}}^2(t)} \left[\frac{d^2 \ln^{-1}[\beta(t)]}{dt^2} \right] \right), \\ &\equiv H_{\text{ac}}^2(1 + q_{\text{ac}}),\end{aligned}\quad (7)$$

Branch-cut Universe - Enfoque clásico



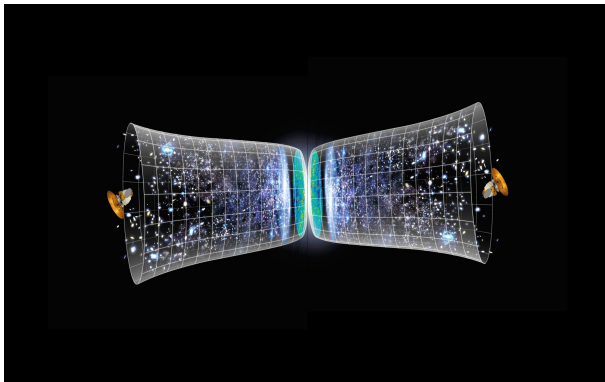
Superficie de Riemann. Las diferentes ramas de la función se pegan en pares, cada mitad superior con la otra mitad inferior. El resultado se asemeja a niveles de estacionamiento en espiral continuos. Resultado: una superficie de Riemann conectada con un número infinito de "niveles", extendiéndose en el sentido horario o anti-horario, hacia arriba y/o hacia abajo. El dominio coincide con la región de confluencia entre la mecánica cuántica y la Relatividad General. \longleftrightarrow dos teorías que aún resultan incompatibles.

Branch-cut Universe

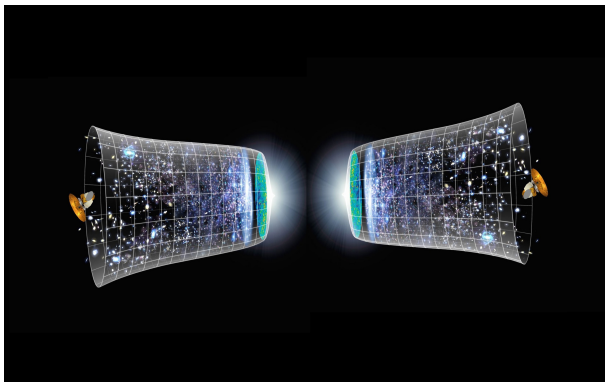


Es un modelo sin singularidad promodial, sin Big Bang. El Universo evoluciona del pasado al presente de forma continua. Cada vez que la función se acerca a la singularidad subyacente, se mueve continuamente a otro nivel, \Leftrightarrow mecanismo clásico para evitar las singularidades \Leftrightarrow implicaciones físicas: 2 escenarios.

Branch-cut Universe - Escenarios



Primer escenario: No hay Big Bang. El universo evoluciona continuamente desde el pasado (pre-Big Bang, tiempos negativos y complejos) hasta el presente (tiempos positivos y complejos). La parte imaginaria del tiempo corresponde al tiempo cosmológico. Corresponde a la inversa de la temperatura, la flecha del tiempo. En resumen, en lugar de una explosión primordial, el universo evoluciona continuamente y, por tanto, sin discontinuidades.



Segundo escenario: En el segundo escenario, el universo tiene su origen en el Big Bang, pero el modelo contempla simultáneamente un universo evolutivo paralelo reflejado que retrocede en el sector negativo del tiempo térmico cosmológico.

Conclusión

Las limitaciones que impone la presencia de singularidades en la Relatividad General son reemplazadas en este tipo de tratamiento por funciones que se comportan de forma continua en el dominio real pero que se complementan con saltos de discontinuidad sobre el eje imaginario. Este tipo de tratamiento puede representar una alternativa técnica para superar la presencia indeseable de singularidades en la Relatividad General en el régimen de gravedad fuerte y / o curvaturas espacio-temporales muy amplias.

Nuestra formulación: una especie de "túnel" clásico termodinámicamente consistente entre el pasado remoto del proceso evolutivo del universo y el presente. El tejido del espacio-tiempo se desarrolla continuamente a lo largo de las láminas de Riemann que eluden un corte de rama, evitando así discontinuidades en la estructura de las ecuaciones de la Relatividad General.

Pregunta subyacente a la conclusión: ¿Significado del tiempo complejo?

- En física, la tendencia predominante entre los científicos es pensar que el espacio y el tiempo constituyen la estructura central del universo.
- Concepciones como la física sin tiempo y de que el fluir del tiempo es una ilusión, dicho por Albert Einstein, han enriquecido el debate sobre su significado.
- Surge entonces una pregunta: ¿cómo conciliar estas visiones con las notables predicciones de la Relatividad General que implica una *materialización* del espacio-tiempo, como en la detección de ondas gravitacionales, concebidas como "ondas" en el espacio-tiempo?
- Evidentemente, no pretendemos tener una respuesta definitiva a esta pregunta. Las especulaciones, aún abiertas, encuentran un mar fértil en la cita de Einstein:

"El tiempo y el espacio son modos por los que pensamos y no condiciones en las que vivimos", una afirmación tan poderosa y profunda que sin duda seguirá iluminando nuestra creatividad e imaginación.

By the way, we are here!

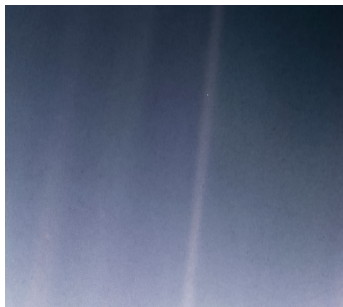


Figure: Pale Blue Dot es una fotografía de la Tierra tomada el 14 de febrero de 1990 por la nave espacial Voyager 1 desde una distancia de seis mil millones de kilómetros de la Tierra. En Cusco nos sentimos así, seres integrados al Cosmos, como parte de Cusco, un poema hecho de piedras y sueños.

- *Tengo sobre mi todos los sueños del mundo, Con el misterio de las cosas bajo las piedras y los seres, Corazones esclavos de las estrellas, Conquistamos el mundo entero antes de levantarnos de la cama, Pero nos despertamos y es opaco, Nos levantamos y él es ajeno, Salimos de casa y él es toda la tierra, Más el sistema solar y la Vía Láctea y el Indefinido.* (Fernando Pessoa, poeta portugués.)

