

# Einstein i la Cosmologia

## Consideracions científiques en torn de la visita d'Einstein a Catalunya (1922-24)

Emili Elizalde

ICE-CSIC i IEEC, Campus UAB, Bellaterra

[www.ice.csic.es/personal/elizalde/eli/eli.htm](http://www.ice.csic.es/personal/elizalde/eli/eli.htm)

[www.encyclopedia.cat/divulcat/Emili-Elizalde](http://www.encyclopedia.cat/divulcat/Emili-Elizalde)

**Universitat Catalana d'Estiu 2023, Prada de Conflent, Ciència i Tecnologia**

*22 d'agost del 2023*

- Pròleg: sobre l'origen d'aquesta xerrada
- Que havia fet Einstein? – Ann. Mir., 1915-17
- Bàsic: –TGR i –“Consideracions Cosmològiques”
- Esdeveniments de l'època i llarga fugida (Jap Pal Spa)
- Einstein a les nostres terres: què va explicar?
- L'importantíssim context científic en temps de la visita
- Cloenda

El 25 de novembre del 1915, en la seva intervenció dins de la sessió de la Acadèmia de Ciències de Prússia, que intitulà *“Die Feldgleichungen der Gravitation”*, Albert Einstein va donar a conèixer la seva Teoria General de la Relativitat; en la que havia estat treballant incansablement prop de deu anys. Un any i escaig més tard, el 8 de febrer del 1917, en una altra intervenció a la mateixa Acadèmia —aquesta amb el títol *“Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie”*— va aplicar per primer cop la seva nova teoria a la descripció de l’Univers.

En la presentació, parlaré del significat cabdal d’aquests fets, entre d’altres primers episodis —també molt rellevants i corresponents a les observacions astronòmiques— que van culminar en el naixement de la Cosmologia moderna. Aquesta prengué eventualment com a sòlida base teòrica les dites equacions de camp de la Teoria General de la Relativitat.

L’originalitat del meu enfoc rau en que te com a referència i fil conductor l’importantíssim entorn científic, però també social i econòmic, de la visita d’Einstein a Catalunya i Espanya, de la que ara en celebrem el centenari. Es remarcarà, en especial, que **un dels més importants episodis de la conversió de la Cosmologia en ciència moderna va tenir lloc, precisament, en torn d’aquell viatge;** fet crucial i que acostuma a passar completament desapercbut arreu.

- 1905, 25 anys, oficina de patents de Berna, *annus mirabilis*
- Quatre articles extraordinàriament transcendentals i innovadors:
  - ✓ teoria de l'efecte fotoelèctric
  - ✓ moviment brownià
  - ✓ teoria de la relativitat especial
  - ✓ equivalència massa-energia  $E = m c^2$
- 1915-17 TGR i KB. Proves verificables que era correcta, Einstein proposà:
  - ✓ precessió anòmala del periheli de Mercuri
  - ✓ desviació de la llum en els camps gravitatoris
  - ✓ desplaçament cap al vermell gravitatori (*gravitational redshift*)
- 1915, Einstein calculà, aproximant, la precessió anòmala del periheli de Mercuri !!
- Quatre anys abans de la tan famosa observació de l'eclipsi solar, del 1919:
  - ✓ Einstein havia anat més enllà de Newton !!!

## 1. El principi de relativitat

- Galileo: té sentit formular lleis de la física (sist. inercials)
- Lleis per sistemes inercials o accel. Forma canvia (transf. Lorentz)
- *No* relativitat total (principi de Mach). Eq. segon ordre.

## 2. La velocitat de la llum és constant, $c$

- Junt amb principi relat Galileo (sis inerc) → Teoria de la Relativitat Especial

## 3. El principi d'equivalència

- Gravetat és com altres forces. Equiv de les masses inert i gravit:  $m_i = m_g$
- L'espai-temps és una varietat, localment Minkowskiana

## 4. Hipòtesi de torsió zero ( $\nabla_X Y - \nabla_Y X = [X, Y]$ )

- Els símb Christoffel són sim. Es pot relaxar (Einstein-Cartan o string theory)

## 5. Reducció a les lleis de Newton

- Per tal de definir les constants universals

Galileu enuncia el seu principi d'invariància: *les lleis de la física són les mateixes en tots els sistemes de referència inercials*. 1632 "Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo" en boca de Salviati (2<sup>on</sup> dia), *gedanken* experiment [silenci, si us plau, és Galileu mateix qui ens parla ...]:

*"Tanqueu-vos amb un amic a la cabina principal, sota la coberta d'un vaixell més aviat gran; i porteu-hi, amb vosaltres, mosques, papallones i altres petits animals voladors. Pengeu una ampolla perquè es vagi buidant, gota a gota, en un ampli recipient situat a sota. Feu que el vaixell vagi a la velocitat que preferiu, però sempre la mateixa: un moviment uniforme, sense fluctuacions en un sentit o un altre. Les gotes cauran en aquest recipient, sense desviar-se a popa, tot i que el vaixell hagi avançat mentre les gotes encara eren a l'aire. Les papallones i mosques seguiran amb el seu vol habitual, de banda a banda, com si mai no es cansessin de seguir el ritme del vaixell, per de pressa que aquest vagi; i mai no succeirà que es concentrin a la popa de la nau."*

- AE 1905, fou capaç de derivar la transformació de Lorentz sota els dos únics supòsits del principi de relativitat o covariància (el de Galileu, que ja hem vist) i de la constància de la velocitat de la llum (en condicions ideals de buit) en qualsevol sistema de referència inercial (M&M) -- éter no!
- Omplí, així, de sentit les transformacions de Lorentz i de Poincaré, considerades prèviament per diversos físics des del 1887
- Les conseqüències d'aquests dos postulats, tan senzills, són extraordinàries i molt difícils de pair per als que ens movem sempre a velocitats insignificants comparades amb la de la llum
  - ✓ la simultaneïtat de dos successos és relativa (al sistema de referència)
  - ✓ dilatació del temps -- contracció de la longitud -- contribució relativista a l'efecte Doppler
  - ✓ i la tan famosa fórmula:  $E=mc^2$  [Lise Meitner, Otto Frisch; Otto Hahn, Fritz Straßmann (1938-39)]
- **Principi d'equivalència:** a l'Oficina de Patents, a Berna, assegut a la seva cadira habitual, pensà sobre què li passaria si estigués caient dret des de la teulada de casa seva
  - ✓ No hi hauria gravetat, en torn seu
  - ✓ Si deixés anar una poma o una moneda, no caurien

*"Assumim l'equivalència física completa d'un camp gravitatori i d'una acceleració corresponent del sistema de referència" (Einstein, 1907)*

*Zitat* d'una carta d'Albert Einstein a Arnold Sommerfeld, de l'any 1912 (això és, uns 60 anys després del famós treball d'Habilitació de Riemann), on li comenta els esforços que està fent per aprendre Geometria Riemanniana:

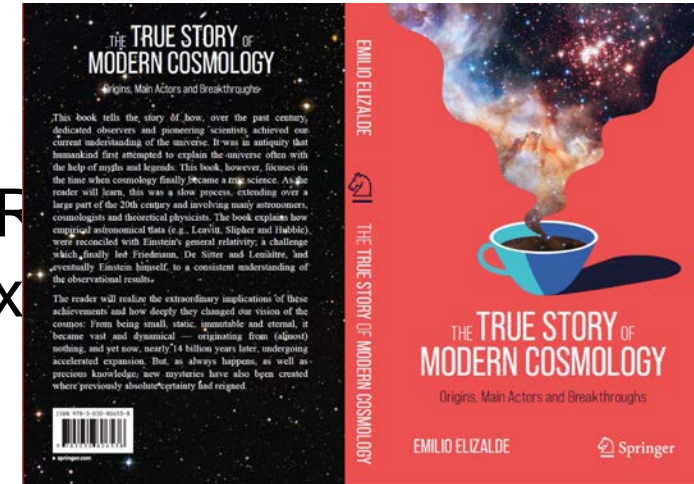
*Aber eines ist sicher, dass ich mich im Leben noch nicht annähernd so geplagt habe und dass ich große Hochachtung vor der Mathematik eingeflößt bekommen habe, die ich bis jetzt in ihren subtileren Teilen in meiner Einfalt für puren Luxus gehalten habe!*

*Però una cosa és segura, que mai en tota la meva vida no m'havia afanyat ni de bon tros com ara, i que mai no havia tingut tan alta consideració per la Matemàtica, la qual tenia fins fa poc, en la meva ingenuïtat, pel que fa a les seves parts més subtils, per un simple luxe!*



## ■ Son independents els principis 1er i 3er ?

- ✓ La resposta és *tricky*: si i no
- ✓ Ho són en la seva presentació
- ✓ Però les aproximacions fetes en la formulació de la TGR (tallar a 2<sup>on</sup> ord) fan que el principi d'equiv sigui tb aprox
- ✓ Les diferencials i gradients d'ordre superior difereixen
- ✓ Això es nota a energies molt elevades



## ■ La teoria d'Einstein *no* és la definitiva (AE dixit)

- ✓ El principi de Mach de la relativitat total no està ben incorporat
- ✓ Einstein fou el primer a reconèixer que la seva teoria era aproximada i incompleta i creia que algú la perfeccionaria aviat. Teories S-T, f(R), QG ? ...
- ✓ F Wilczek (04): total relat → GR, modif Symmetry Breaking paradigm

## 1917: Einstein aplica TGR per descriure l'Univers

- Com en el cas newtonià, la seva teoria porta a la conclusió que les masses que hi ha a l'Univers haurien corbat enormement l'espai
- Troba una solució introduint, al costat del laplacià de l'eq de Poisson, un terme constant (pàg 144) que actua com a “antigravetat” (Robert Hooke)
- De manera anàloga, a la pàg 151 introdueix el mateix tipus de constant universal, “*eine vorläufig unbekannte universelle Konstante*” a les seves eq
- I raona, a més, que sempre que  $\lambda$  sigui prou petita, en aplicar-les als dominis del sistema solar segueixen donant resultats indistingibles dels de la física newtoniana

142 Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 8. Februar 1917

### Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie.

VON A. EINSTEIN.

Es ist wohlbekannt, daß die Poissonsche Differentialgleichung

$$\Delta \phi = 4\pi K \rho \quad (1)$$

in Verbindung mit der Bewegungsgleichung des materiellen Punktes die Newtonsche Fernwirkungstheorie noch nicht vollständig ersetzt. Es muß noch die Bedingung hinzutreten, daß im räumlich Unendlichen das Potential  $\phi$  einem festen Grenzwerte zustrebt. Analog verhält es sich bei der Gravitationstheorie der allgemeinen Relativität; auch hier müssen zu den Differentialgleichungen Grenzbedingungen

144 Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 8. Februar 1917

der an sich nicht beansprucht, erst genommen zu werden: er dient nur dazu, das Folgende besser hervortreten zu lassen. An die Stelle der Poissonschen Gleichung setzen wir

$$\Delta \phi - \lambda \phi = 4\pi K \rho, \quad (2)$$

wobei  $\lambda$  eine universelle Konstante bedeutet. Ist  $\rho_0$  die (gleichmäßige) Dichte einer Massenverteilung, so ist

$$\phi = - \frac{4\pi K}{\lambda} \rho_0 \quad (3)$$

eine Lösung der Gleichung (2). Diese Lösung entspräche dem Falle, daß die Materie der Fixsterne gleichmäßig über den Raum verteilt wäre, wobei die Dichte  $\rho_0$  gleich der tatsächlichen mittleren Dichte der Materie des Weltraumes sein möge. Die Lösung entspricht einer unendlichen Ausdehnung des im Mittel gleichmäßig mit Materie er-

- Einstein estava convençut de que li concedirien el PN:
  - ✓ Al seu diari **no** esmenta el dia que descobrí que havia estat guardonat!
  - ✓ El 1918 **“cedeix”** l’import (50a de salari) a Mileva i fills en l’acord de divorci
  - ✓ Li donen el 1922, correspon al 21; fa el discurs d’accept. juliol 1923
  - ✓ Quan li donen escriu al comité Nobel: **“...gràcies...em lliuraré dels pesats...”**
- Concedit **“pels seus serveis a la física teòrica, i en especial pel descobriment de la llei de l’efecte fotoelèctric”**
  - ✓ Comprovat ja el 1916, per Robert Millikan (PN 1923)
- Degut a l’hiperinflació a Alemanya el 1923 **els capitals perden tot el seu valor**

- **9 gener 1923:** Juan de la Cierva fa el primer vol en el seu autogir
- **11 gener:** tropes de França i Bèlgica ocupen la conca del Ruhr, per forçar Alemanya a pagar les reparacions de guerra acordades al Tractat de Versalles
- **Febrer 1923:** l'inflació creix, un dòlar es canvia per 57.500 marcs
- **23 febrer 1923:** el Parlament alemany aprova un decret llei contra els especuladors
  - **Juliol:** 1 dòlar = 353.000 marcs (més de 200 vegades el seu valor a primers de gener)
  - **15 nov 1923:** 1 dòlar = 4.200.000.000.000 marcs (4,2 bilions!!!)

- **13 feb 1923:** es descoberta a Egipte la tomba de Tutankamon
- **10 març:** assassinat a Barcelona l'anarquista Salvador Seguí
- **20 jul:** assassinat a Mèxic el líder popular Pancho Villa
- **13 set:** cop d'estat protagonitzat pel general Primo de Rivera
- **Acaballes de 1923:** a Munic, *putsch* de la cerveseria, Adolf Hitler i Rudolf Hess processats i condemnats a presó

- **Oct 1922 — Mar 1923:** conferències a l'Orient Llunyà, Palestina i Espanya
- No pel plaer de viatjar, **per fugir d'Alemanya** (assas. de Walther Rathenau, "Ilista")

## *Diari de viatge al Japó, Palestina i Espanya [6 oct 1922–12 mar 1923]*

**6 d'octubre.** *Viatge nocturn en tren ple de gom a gom després del retrobament amb Besso i Chavan. Esposa perduda a la frontera.*

**7 d'octubre.** *Sortida del sol poc abans de l'arribada a Marsella. Siluetes de cases planes, austeres envoltades de pins. Marsella, carrerons estrets. Dones voluptuoses. Exuberància vegetativa. Ens va portar a remolc un jove aparentment honest, que ens deixà en una posada espantosa, al costat de l'estació de tren. Petits insectes al cafè del matí. Vam anar errant fins a la companyia naviliera i el port vell, prop del nucli antic de la ciutat. Al vaixell ...”*



*“Els japonesos m'atrauen... més encara que tots els pobles que he conegut fins ara: tranquils, modestos, intel·ligents, apreciadors de l'art i considerats, res és per les aparences, sinó que tot és per la substància ...”*



A Hiroshima, Einstein va escriure en el seu diari que al bell cim del mont Misen, s'havia vist envoltat d'

*“ànimes pures com en cap altre lloc del món.  
Un no pot sinó estimar i admirar aquest país”*

## Breus detalls sobre la seva visita a Catalunya i Espanya

- Convidat per Esteve Terradas, físic i eng, i per Julio Rey Pastor, matemàtic
- Terradas ofert 7.000 ptes, el doble del salari anual d'un professor, per donar conferències a Barcelona i a Madrid
- Vaixell atraca a Marsella, problemes facturar equipatge a Berlín o Zuric: no avisa
- Hotels: Cuatro Naciones (modest), Colon (7d, fact 692 ptes), 883 ajb, 500 racab

### *Doc. 379. Diari de viatge [març 1923], p. 325-326*

*17, 18, 19 de febrer.* Indigestió per menjar dolent. Alta mar i pluja. 19 al matí, Stromboli ben a la vista. Tarda, 6 en punt, Nàpols. Vesuvi amb núvols grisos, cel ennuvolat. Tan fred i desagradable que un està content de poder quedar-se al vaixell. Un anglès d' Austràlia resulta ser de Mecklenburg.

*Notícies de vaga ferroviària a França i cada cop més represàlies al Ruhr, com aniran les coses? A Toulon gent amable, a Marsella, perillós parlar alemany. El director del dipòsit de mercaderies es nega a enviar el nostre equipatge a Berlín, o fins i tot a Zuric.*

*22-28 de febrer.* Parada a Barcelona. Molt cansat, però gent amabilíssima (Terradas, Campalans, Lana, la filla de Tirpitz). Cançons populars, balls. Refectorium. Que bonic va ser!

*1 de març.* Arribada a Madrid. Sortida de Barcelona, cordials comiats.

*Terradas, cònsol alemany amb la filla de Tirpitz, etc.*





*Albert Einstein davant de la Fonda Ibèrica de l'Espluga de Francolí, el 25 de febrer de 1923. El que va atreure els nens no va ser Einstein sinó el magnífic automòbil en que viatjava, de la casa Elizalde, Tipus 29 torpedo (33.000 ptes). Fotos: Casimir Lana Sarrate.*



- ❖ **Visità llocs emblemàtics** de Barcelona, i Sant Cugat, Terrassa, l'Espluga de Francolí i Poblet
- ❖ **Diari: contrasten** 3 paraules per Saragossa, 3 línies per Catalunya, 40+ per Madrid i rod.
- ❖ Havia deixat una **pàgina en blanc**, potser per omplir-la després, cosa que mai va fer
- ❖ Altre contrast: **distincions científiques** rebudes 3 vs “ja veurem ...”
- ❖ **Després de tres setmanes** de visita, els Einstein tornen en tren a Berlín el 14 març (44a), arriben el 21 març 1923 (**prop de 6 mesos**)
- ❖ Historiadors d'acord: visita d'Einstein **no va servir** per europeïtzar la ciència espanyola
- ❖ Deixà un **gran sentiment d'admiració** vers el geni, support i **motivació** per seguir treballant
- ❖ Un **impuls emocional** per fer recerca; que **mor** amb la Guerra Civil, **poc o res en va romandre** (quan nosaltres érem estudiants)
- ❖ Gran objectiu de la commemoració: exposar com aquesta **situació ha canviat molt**
- ❖ De ser admiradors passius (de rebutjar la Ciència!) a ser **actors de nivell internacional**, que participem en l'esdevenir científic d'avantguarda. Se n'han presentat **proves fefaents**.

- Diari de viatge: sovint ocupat amb qüestions de física
- Diari 9 oct 1922: llegia els llibres d'Ernst Kretschmer "*Física i caràcter*" i d'Henri Bergson sobre *relativitat*
- Compara aprox. de Riemann i de Weyl al problema de la "*unificació de la gravetat amb l'electricitat ...*"
- En va parlar en algunes de les seves conferències
- Hi va dedicar molt temps en el futur: *teoria unificada*

Però **NO** és aquest el punt!

- Alexander Friedmann (o Alexandr Fridman) 1888-1925 Sant Petersburg, prof. Inst. de Mines, **interesos matem.**
- **Finals 1920:** carta a Ehrenfest (Inst. Lorentz, Leiden) **obté ja** solucions senzilles per la teoria de la relativitat
- **Principis 1922:** altra carta “... *possible univers amb radi de curvatura que varia amb el temps ...*” rus, mai publicat, Ehrenfest -> Schouten
- **29 juny 1922:** *Zeitschrift für Physik*, “*Über die Krümmung des Raumes*”

*“...El cas d'un Univers variable admet, per contra, un gran nombre de situacions possibles. En alguns casos, el radi de curvatura de l'univers augmenta constantment amb el temps. I hi ha altres situacions que corresponen a un radi de curvatura que canvia periòdicament...”*

- Einstein va analitzar l'article de Friedmann amb força rapidesa
- Nota rebuda per *Zeitschrift für Physik*, 18 set 1922  
(poques setmanes abans d'embarcar-se per 6 mesos)

*"...Pel que fa a l'Univers no estacionari, els resultats continguts en el treball em semblen sospitosos. De fet, la solució donada per a aquest cas resulta que no satisfà les equacions de camp..."*

- Friedmann es va assabentar de la crítica d'Einstein a través del seu amic **Yurii Krutkov**, que aquells dies era de visita a Berlín
- I, el 6 de desembre 1922, Friedmann escriu una carta a Einstein responent totes les seves objeccions
- Quan la carta de Friedmann arribà a Berlín, Einstein ja havia marxat!

➤ A la carta, Friedmann diu a Einstein:

*"... Tenint en compte que la possible existència d'un Univers no estacionari és d'interès, m'agradaria presentar-vos aquí els càlculs que he fet, perquè els pugueu verificar i avaluar-los críticament. [Aquí detalla totes les operacions matemàtiques]. Si trobeu que els càlculs que presento en aquesta carta són correctes, si us plau, vulgueu ser tan amable d'informar els editors de Zeitschrift für Physik sobre aquesta conclusió. Potser en aquest cas vulgueu vós mateix publicar una correcció a la declaració que heu fet, o si més no, doneu-me l'oportunitat de publicar la part d'operacions d'aquesta carta..."*

➤ **Maig 1923, Krutkov i Einstein es retroben a Leiden (Hendrik Lorentz es jubila), cara a cara a la casa d'Ehrenfest (el successor de Lorentz)**

- Dos curts paràgrafs en cartes de Krutkov a la seva germana, a SP

*"...El dilluns 7 de maig vaig estar amb Einstein, llegint en detall l'article de Friedmann de ZfP..."*

- A l'altra carta, escrita el 18 de maig de 1923, afirma:

*"...He aconseguit derrotar Einstein en l'argument del treball de Friedmann. L'honor de Petrograd està salvat!..."*

- I Einstein escriu a *Zeitschrift für Physik* una nota on es retracta:

*"...En la meva nota anterior vaig criticar el treball de Friedmann sobre la curvatura de l'espai. Tanmateix, una carta del Sr. Friedmann, que em va passar el Sr. Krutkov, em va convèncer que la meva crítica s'havia basat en un error comès en els meus càlculs. Ara considero que els resultats del Sr. Friedmann són correctes i que aporten nova llum..."*

La nota on es retracta segueix:

*“...Queda demostrat que les equacions de camp, juntament amb la solució estàtica, admeten també solucions dinàmiques (és a dir, amb la coordenada temporal variable) amb simetria central per a l'estructura espacial”.*

## Notiz zu der Arbeit von A. Friedmann „Über die Krümmung des Raumes“.

Von A. Einstein in Berlin.

(Eingegangen am 31. Mai 1923.)

Ich habe in einer früheren Notiz<sup>1)</sup> an der genannten Arbeit<sup>2)</sup> Kritik geübt. Mein Einwand beruhte aber — wie ich mich auf Anregung des Herrn Krutkoff an Hand eines Briefes von Herrn Friedmann überzeugt habe — auf einem Rechenfehler. Ich halte Herrn Friedmanns Resultate für richtig und aufklärend. Es zeigt sich, daß die Feldgleichungen neben den statischen dynamische (d. h. mit der Zeitkoordinate veränderliche) zentrisch-symmetrische Lösungen für die Raumstruktur zulassen.

<sup>1)</sup> ZS. f. Phys. **11**, 326, 1922.

<sup>2)</sup> Ebenda **10**, 377, 1922.



- Durant almenys una dècada, ningú no considerà els treballs de Friedmann (2<sup>on</sup> 1924) com a possibles models per al nostre Univers
- Einstein trigà 10a a admetre l'expansió de l'Univers!
- Lemaître 1927, lligà eqs (Fried.) i obs (Slipher, Hubble)
- 1932 Robertson i Walker: solució Friedmann ÚNICA!!
- Model Univ: Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker

- Al mig de la **primera revolució** de la cosmologia moderna (1912-32): Henrietta Leavitt, Vesto Slipher fins d'Edwin Hubble, i inclou teòrics Albert Einstein, Alexander Friedmann, Willem de Sitter i G Lemaître
- Va haver d'esperar a l'elaborada **formulació del model de Big Bang**, comprovació definitiva de la **radiació còsmica de fons (CMB)**, i encara a una **remodelació important i crucial (la inflació)**, preludi 2<sup>a</sup> revol
- **Segona revolució (1985-2005): l'expansió de l'Univers s'accelera !?!?**
- **1923: Un episodi cabdal de la història de la física, de la cosmologia i, encara més enllà, de tota la història humana**

- La contribució personal d'Einstein en aquest episodi específic no podem dir que fos tan brillant com en altres ocasions
- Però ningú pot negar que l'origen de tot es troba a **les equacions de camp de la seva teoria general de la relativitat**, treballades per altres investigadors de molt alt nivell i gran intuïció
- El mateix Einstein **no va ser capaç d'arribar a comprendre totes les conseqüències** de l'excel·lent teoria que havia creat, a partir de principis molt **bàsics i naturals**
- **Més de cent anys i la dedicació de milers d'investigadors d'arreu:**  
*"Malgrat el pes, que a cops pot semblar infinit, d'alguns grans genis, l'avenç en el coneixement és sempre, sense excepció, una tasca col·lectiva."* He dit.

# THE TRUE STORY OF MODERN COSMOLOGY

Origins, Main Actors and Breakthroughs

This book tells the story of how, over the past century, dedicated observers and pioneering scientists achieved our current understanding of the universe. It was in antiquity that humankind first attempted to explain the universe often with the help of myths and legends. This book, however, focuses on the time when cosmology finally became a true science. As the reader will learn, this was a slow process, extending over a large part of the 20th century and involving many astronomers, cosmologists and theoretical physicists. The book explains how empirical astronomical data (e.g., Leavitt, Slipher and Hubble) were reconciled with Einstein's general relativity; a challenge which finally led Friedmann, De Sitter and Lemaitre, and eventually Einstein himself, to a consistent understanding of the observational results.

The reader will realize the extraordinary implications of these achievements and how deeply they changed our vision of the cosmos: From being small, static, immutable and eternal, it became vast and dynamical — originating from (almost) nothing, and yet now, nearly 14 billion years later, undergoing accelerated expansion. But, as always happens, as well as precious knowledge, new mysteries have also been created where previously absolute certainty had reigned.

ISBN 978-3-030-80653-8



9 783030 806538

► [springer.com](http://springer.com)



EMILIO ELIZALDE



THE TRUE STORY OF MODERN COSMOLOGY



# THE TRUE STORY OF MODERN COSMOLOGY

Origins, Main Actors and Breakthroughs

EMILIO ELIZALDE

 Springer

No resulta difícil imaginar a nuestros ancestros contemplando admirados el maravilloso cielo nocturno. Y fue ya en la Antigüedad cuando empezaron a elaborarse las primeras teorías sobre los componentes constitutivos del universo, material y etéreo, que nos envuelve. Este libro se centra sobre todo en un punto concreto: investigar el momento en que la cosmología se convirtió por fin en una verdadera ciencia, en que las teorías sobre el cosmos devinieron teorías científicas. Eso no sucedió de la noche a la mañana, ya que fue un proceso lento, que ocupó gran parte del siglo XX y en el que intervinieron numerosos astrónomos, cosmólogos y teóricos de la física fundamental, con sus grandes aciertos y, en ocasiones, crasos errores.

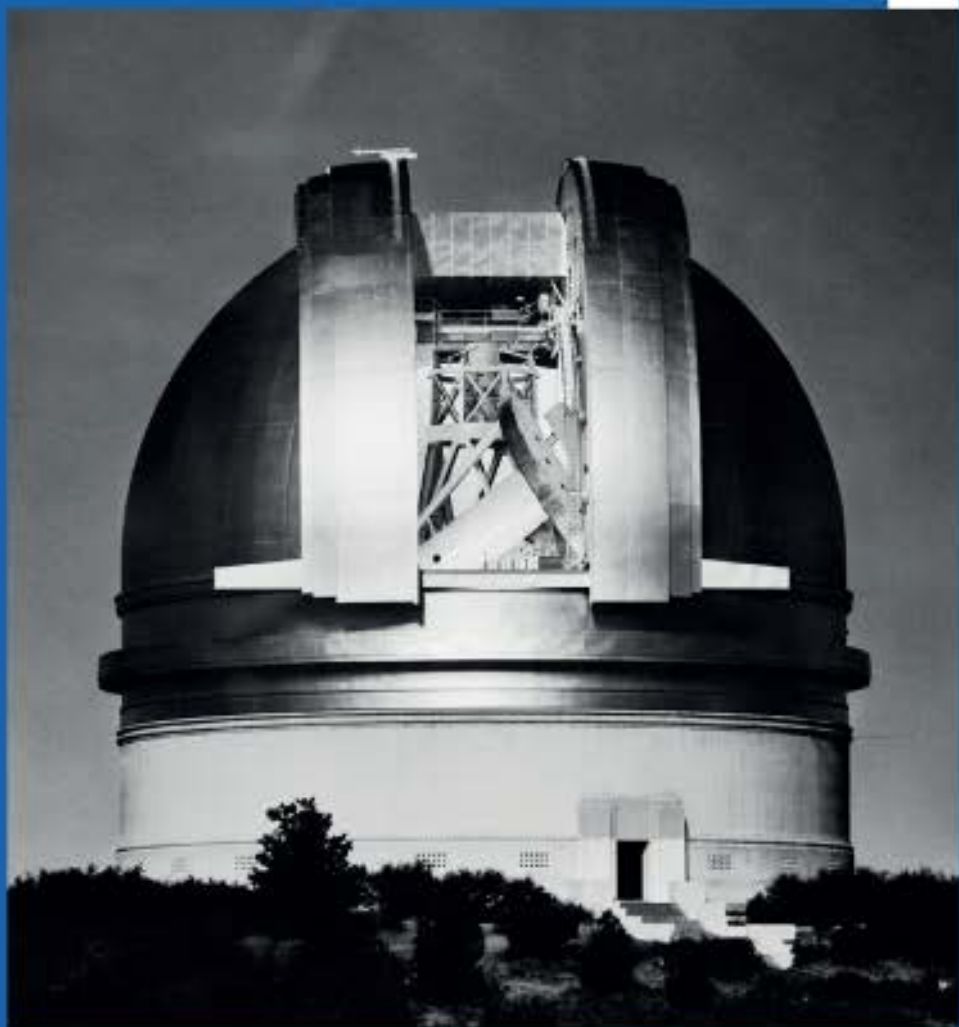
Todo este proceso se fundamentó en conciliar los datos empíricos obtenidos de las observaciones astronómicas (Leavitt, Slipher, Hubble) con un marco teórico muy sólido: la relatividad general de Einstein, la Teoría que finalmente permitió (Friedmann, De Sitter, Lemaître) interpretar y entender los resultados obtenidos por los astrónomos. Visto en perspectiva, las aportaciones del pasado siglo tuvieron unas implicaciones extraordinarias, casi increíbles, que cambiaron por completo nuestra visión del universo: de ser pequeño, estático, inmutable y eterno pasó a ser enorme, a tener un principio, a partir de casi nada, y a expandirse aceleradamente. Lo que ha creado, a su vez, un nuevo misterio donde por un tiempo reinó la certeza absoluta.

Emilio Elizalde

# Cosmología moderna desde sus orígenes



**Emilio Elizalde** es físico y matemático. Doctor en Física por la Universidad de Barcelona, fue Humboldt fellow en Hamburgo y Berlín, y SEP fellow en Japón. Posteriormente, ha sido profesor de la Universidad de Barcelona y visiting scholar de prestigiosas universidades en Europa, Asia y América. Ha sido nombrado profesor *honoris causa* por dos universidades extranjeras y, desde hace poco, profesor de investigación *ad honorem* del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, tras haber recibido cuatro distinciones al mérito científico por parte de esta institución, en sus años de pertenencia a la misma. Reputado especialista, con libros de referencia, en funciones zeta y sus aplicaciones a las teorías de campos cuánticos y al efecto Casimir, ha dedicado parte de su trayectoria científica a la cosmología teórica y a las teorías de gravedad. Se siente profundamente orgulloso de sus estudiantes de doctorado y post-docs, varios de los cuales son ahora científicos de altísimo nivel en campos diversos, que abarcan desde los quarks e iones pesados al análisis funcional, la energía oscura y la cosmología observacional a gran escala.



# Gràcies !