

# Emergent Time from Quantum Variability

(Tiempo emergente de la variabilidad cuántica)

Iván Mauricio Burbano Aldana<sup>\*</sup>

Code: 201423205

Advised by: Dr. Andrés Fernando Reyes Lega<sup>\*\*</sup>

Departamento de Física, Universidad de los Andes, A.A.  
4976-12340, Bogotá, Colombia

September 30, 2018

## Abstract

Operator algebras, as general frameworks for the description of the observables of physical systems, have been an important tool towards rigorous investigations in information theory, statistical physics, and quantum field theory [1, 2, 3, 4]. In this project we will familiarize with these techniques and explore Connes' proposal for the emergence of time as a quantum phenomenon [5]. By building from [6], we will begin through the study of a generalization of the Radon-Nikodým theorem to von Neumann algebras [7]. This central result will yield a canonical dynamical mapping  $\mathbb{R} \rightarrow \text{Out}(\mathcal{M})$  due to the noncommutativity of the von Neumann algebra  $\mathcal{M}$ . For type III von Neumann algebras, which are intimately related to the physics of systems with an infinite number of degrees of freedom [8], this prescription provides a class of dynamical evolutions which differ only locally from each other. It is in this sense that  $\mathcal{M}$  should be regarded by itself as a dynamical object. After understanding the theoretical and mathematical details of this construction, we will aim to present in great detail physically meaningful examples. We hope that this exercise will shed light into the physical meaning of Connes' mathematical proposal and guide research towards more concrete formulations.

## Resumen

Las álgebras de operadores, como marcos generales para la descripción de observables en sistemas físicos, han sido una herramienta importante para investigaciones rigurosas en teoría de la información, física

---

<sup>\*</sup>im.burbano10@uniandes.edu.co

<sup>\*\*</sup>anreyes@uniandes.edu.co

estadística y teoría cuántica de campos[1, 2, 3, 4]. En este proyecto vamos a familiarizarnos con estas técnicas y exploraremos la propuesta de Connes sobre la emergencia del tiempo como un fenómeno cuántico[5]. Partiendo de [6], empezaremos estudiando una generalización del teorema de Radon-Nykodym para álgebras de von Neumann[7]. Este resultado central presentará un mapa dinámico canónico  $\mathbb{R} \rightarrow \text{Out}(\mathcal{M})$  debido a la no-conmutatividad del álgebra de von Neumann  $\mathcal{M}$ . Para álgebras de von Neumann tipo III, las cuales están íntimamente relacionadas con la física de sistemas con un número infinito de grados de libertad[8], esta prescripción provee una clase de evoluciones dinámicas que solo difieren localmente entre si. Es en este sentido que  $\mathcal{M}$  debe de ser entendido como un objeto dinámico por si mismo. Después de entender los detalles teóricos y matemáticos de esta construcción, pretenderemos mostrar en detalle ejemplos de importancia física. Esperamos que este ejercicio esclarezca el significado físico de la propuesta matemática de Connes y guíe la investigación hacia formulaciones más concretas.

## Recommended Jury

### Universidad de los Andes

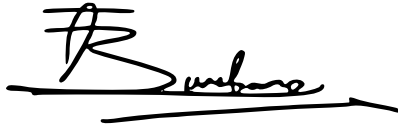
1. Alexander Cardona Guio  
Associate Professor of the Mathematics Department  
[acardona@uniandes.edu.co](mailto:acardona@uniandes.edu.co)  
CV: <https://pentagono.uniandes.edu.co/~acardona/ACcurriculumvitae.pdf>
2. Nelson Javier Buitrago Aza  
Postdoctoral Researcher of the Physics Department  
[nj.buitragoa@uniandes.edu.co](mailto:nj.buitragoa@uniandes.edu.co)
3. Pedro Bargueño de Retes  
Faculty Professor of the Physics Department  
[p.bargueno@uniandes.edu.co](mailto:p.bargueno@uniandes.edu.co)  
CV: [http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cv lac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001572334](http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cv lac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001572334)

### Other

1. Aiyalam Parameswaran Balachandran  
Professor Emeritus at Syracuse University  
[balachandran38@gmail.com](mailto:balachandran38@gmail.com)

2. Jorge Andrés Plazas Vargas  
Assistant Professor at Universidad Javeriana  
[jorge.plazas@javeriana.edu.co](mailto:jorge.plazas@javeriana.edu.co)  
CV: [http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001544588](http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001544588)
3. Leonardo Arturo Cano García  
Professor at Univesidad Nacional  
[lcnog@unal.edu.co](mailto:lcnog@unal.edu.co)  
CV: [http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001450991](http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001450991)

## Signatures



Iván Mauricio Burbano Aldana

Andrés Fernando Reyes Lega

## References

- [1] Masanori Ohya and Dénes Petz. *Quantum Entropy and its Use*. Springer-Verlag, 1993.
- [2] Ola Bratteli and Derek W Robinson. *Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics*, volume 1. Springer, second edition, 1987.
- [3] Ola Bratteli and Derek W. Robinson. *Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics*, volume 2. Springer, second edition, 1997.
- [4] Alain Connes and Matilde Marcolli. *Noncommutative Geometry, Quantum Fields and Motives*. American Mathematical Society and Hindustan Book Agency, 2008. URL: <http://www.alainconnes.org/docs/bookwebfinal.pdf>.
- [5] Alain Connes. Temps et aléa du quantique, 2015. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ODAngTW8deg{&t=3047s>.
- [6] Iván Mauricio Burbano. *KMS States and Tomita-Takesaki Theory*. B.sc. thesis, Universidad de los Andes, 2017. URL: <https://github.com/ivanmbur/Monografia/blob/master/monografia.pdf>.
- [7] Alain Connes. Une classification des facteurs de type III. *Ann. scient. Éc. Norm. Sup.*, 6(4):133–252, 1973.

- [8] Jakob Yngvason. The Role of Type III Factors in Quantum Field Theory. *Reports on Mathematical Physics*, 55(1):135–147, 2004. URL: <https://arxiv.org/pdf/math-ph/0411058.pdf>, [arXiv:0411058](https://arxiv.org/abs/0411058), [doi:10.1016/S0034-4877\(05\)80009-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4877(05)80009-6).