

N° 01  
Noviembre de 2020  
ISSN(e): 2744-9920 (En línea)

# Revista de la Escuela de Ingenierías y Tecnologías Unimonserate



# REIT

Revista de la Escuela de Ingenierías y Tecnologías Unimonserrate

---

---

La Revista de la Escuela de Ingenierías y Tecnologías Unimonsserrate, Es una revista anual de investigaciones de la Fundación Universitaria Monserrate-Unimonsserrate, que busca aportar a la reflexión, divulgación e investigación en ciencias e ingenierías.

**REVISTA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS UNIMONSERRATE No 1**

2744-9920 (En línea)

**Periodicidad: Anual**

**Fundación Universitaria Monserrate - Unimonsserrate**

Av. Calle 68 No. 62-11  
3902202 Ext 1319-1320  
Bogotá – Colombia  
Noviembre de 2020

**Rector**

Ricardo Alonso Pulido Aguilar, Pbro.

**Vicerrector Académico**

Hugo Orlando Martínez Aldana, Pbro.

**Vicerrector Administrativo y Financiero**

Carlos Iván Martínez Urrea, Pbro.

**Vicerrector de Pastoral y Bienestar**

Marcos Alexander Quintero Rivera, Pbro.

**Decano**

Carlos Iván Martínez Urrea, Pbro.

**Director de los Programas de Ingenierías y Tecnologías**

Luis Fernando Rosas Arango

**Editora**

Claudia Patricia Mejía Villagrán.  
coordinacioninvestigacioneit@unimonsserrate.edu.co

**Corrección de estilo**

Nidia Patricia Muñoz Becerra.  
Profesional Proyección Social Fundación Universitaria Monserrate  
Diego Fernando Marquín Villamil  
Historiador  
Martha Yolima Suárez Villagrán  
Física  
José Camilo Herrera Hurtado  
Físico

**Diseño de Portada**

Dora Myriam Suárez Villagrán  
Estadística-Programadora  
Claudia Patricia Mejía Villagrán  
Física

**Diagramación**

Camilo Andrés Fajardo Quintero. Comunicación Organizacional. Fundación Universitaria Monserrate – Unimonsserrate.

**© Fundación Universitaria Monserrate - Unimonsserrate**

Los artículos podrán ser reproducidos parcial o totalmente, solo con fines educativos, sin ánimo comercial y citando siempre la fuente completa y a los autores.

Cada autor es responsable de las opiniones contenidas en su artículo.



# CONTENIDO

# CONTENIDO

Editorial.....	5
Quantum phase transitions of strongly correlated metals.....	6
La mecánica cuántica y la necesidad de incluirla en los planes de estudio.....	14
Los materiales biodegradables, una alternativa a la contaminación de los polímeros sintéticos.....	29
Modelado matemático de zombis, una presentación divertida de modelos epidemiológicos.....	38
Nikola Tesla, un genio entre luces y desfalcos.....	46

# Editorial

## La Ingeniería al servicio de un nuevo país

Cuando hablamos de La Ingeniería necesariamente nos referimos al horizonte epistemológico que da cuenta de ingenio y creación, de tecnología e innovación, y desde allí, la posibilidad de cosas nuevas. Precisamente en este horizonte, cualquier profesional de la ingeniería ha de estar en permanente actualización, creatividad, con una mente inconforme y en búsqueda permanente por encontrar soluciones efectivas y eficientes a tantas limitaciones de la humanidad.

Contrario a lo que muchos pueden pensar, las aplicaciones de la Ingeniería cumplen una función profundamente social cuando ellas se enfocan a mejorar las condiciones de vida de las personas, las comunidades o la sociedad. Sin caer en discusiones, muchas de ellas estériles, sobre el concepto de desarrollo, muchas acciones provenientes de la ingeniería, en ámbitos muy diversos, han permitido que las sociedades resuelvan un sinnúmero de obstáculos para la dignificación de la persona y su entorno.

Una mirada sobre los diversos desarrollos de la ingeniería ha permitido hacer un puente necesario entre la teoría de las ciencias denominadas puras, las necesidades humanas y las aplicaciones concretas en diversos campos humanos. Un puente, un software, un material médico, un proceso optimizado de transporte, una app en un celular, un viaje intergaláctico, un robot, una vacuna, son ejemplos absolutamente claros de la enorme contribución de los ingenieros en nuestra sociedad.

Un reto indudable es el acceso de todos a los desarrollos de la ciencia y en particular a las aplicaciones y la creatividad de la ingeniería. La educación es una de las columnas vertebrales para este acceso, pero también existen columnas vertebrales vinculadas apolíticas sobre ciencia y tecnología, traspaso o intercambio de tecnología, acceso a know how de otras latitudes y visualización clara del horizonte y las necesidades de aplicación de la ciencia. Como en otras latitudes, por ejemplo, los países asiáticos, nuestros países necesitan urgentemente hacer opciones de país, con visiones claras y opciones concretas para encarrilar los esfuerzos educativos y empresariales.

La Escuela de Tecnologías e Ingenierías de Unimonserrate presenta nuestra revista especializada para visualizar la conexión entre la academia y la realidad social que debemos impactar. Este esfuerzo de producción sea para todos una vitrina especial para dejar la memoria de las transformaciones que proponemos desde la Ingeniería y sus desarrollos en bien de muchos.

**Carlos Iván Martínez Urrea Pbro.**  
**Decano Escuela de Ingenierías y Tecnologías**  
**Fundación Universitaria Monserrate-Unimonserrate**

# Quantum phase transitions of strongly correlated metals

## Transiciones de fase cuántica de materiales fuertemente correlacionados

*Martha Y. Suárez Villagrán<sup>1</sup>  
Nikolaos Mitsakos<sup>2</sup>  
and John H. Miller Jr<sup>1</sup>.*

*DOI: 10.29151/reit.n1a1*

<sup>1</sup> Department of Physics & Texas Center for Superconductivity, University of Houston, Houston, Tx 77204-5005 USA

<sup>2</sup> Department of Mathematics, University of Houston, Houston, Tx 77204-5008 USA



## Resumen

En este artículo, discutimos varios aspectos de la transición de fase cuántica, con especial énfasis en la transición metal-aislante. Comenzamos con una revisión de trabajos claves experimentales y teóricos realizado por científicos que hicieron contribuciones históricamente importantes al campo. Posteriormente discutimos cómo la adición de dopaje a un sistema reduce la temperatura crítica de la transición de fase. Aunque muchos aspectos de la transición de fase cuántica siguen siendo un problema abierto, se han hecho progresos considerables para revelar la física subyacente, tanto teórica como experimentalmente.

Palabras clave: Transición de fase cuántica; transición metal aislante; DMFT; StatDMFT; localización de Anderson.

## Abstract

In this article, we discuss several aspects of the quantum phase transition, with special emphasis on the metal-insulator transition. We start with a review of key experimental and theoretical works and then discuss how doping a system reduces the critical temperature of the overall phase transition. Although many aspects of the quantum phase transition still remain an open problem, considerable progress has been made in revealing the underlying physics, both theoretically and experimentally.

Keywords: quantum phase transition; metal insulator transition; DMFT; StatDMFT; Anderson localization.

## Introduction and discussion

The flow of electrons in a metal was first successfully described in a model by Paul Drude in 1900 [1]. This semi-classical theory assumes that electrons move freely through crystal without feeling the effects of other electrons, but can be scattered by crystalline ions, where the average time interval between scattering events is known as the relaxation time. This simple model enables description of a constant current due to an applied electric field [1]. The Drude theory was modified by Arnold Sommerfeld in 1927. His free electron model includes quantum effects, such as the Fermi-Dirac distribution and Pauli exclusion principle. The theoretical basis for understanding why this model describes the behavior of various materials was established by Lev Landau with his Fermi liquid theory [2]. This theory maps elementary excitations of interacting electronic systems onto excitations of non-interacting systems, describing weak residual interactions with a small set of phenomenological parameters. The primary result of Fermi liquid theory is that low energy excitations, known as quasiparticles, behave almost like non-interacting electrons. The relaxation time of a quasiparticle state diverges as its energy approaches the Fermi energy,  $E_F$ , and as  $T \rightarrow 0$ .

In highly correlated electronic systems, the effects of interactions between electrons cannot be neglected. Such effects lead to interesting phenomena, including the metal-insulator phase transition, which have attracted considerable attention during the last several years. Phase transitions are fascinating phenomena observed in a wide variety of chemical, physical, and biological systems. They encompass a range of phenomena that in-

clude: (i) transitions between solid, liquid, and gaseous phases of matter; (ii) transitions between paramagnetism and several magnetically ordered phases (ferromagnetic, antiferromagnetic, and ferrimagnetic); (iii) the superconducting transition; (iv) the superfluid transition; and many others. One characteristic of a phase transition is a singular change in various physical properties of the system. Phase transition is accompanied by the appearance of some sort of spontaneous ordering or symmetry breaking. Examples of orders that emerge are the crystalline order of solids, the breaking of rotational symmetry and time reversal symmetry in magnetic systems, and the “off-diagonal long-range order” present in superconductors and superfluids.

Phase transitions can occur even at zero temperature, with variation of some state parameters, such as pressure, chemical pressure, magnetic field, or electric field. A phase transition at  $T=0$  is called a quantum phase transition. It is characterized by singular change in the fundamental state of the system. It is important to note that although zero temperature is impossible to achieve, the effects of a quantum phase transition at  $T=0$  can still be felt at finite temperatures [3]. It is thus important to study quantum phase transitions, due to their impact on real systems and many potential applications.

Understanding systems’ behavior close to phase transition, induced by electron-electron interaction, remains at the epicenter of scientific and technological research. One ingredient is the distinction between metallic and insulating behavior, which is only well defined at zero temperature. As  $T \rightarrow 0$ , resistivity of an insulator diverges, while that of a metal converges. At temperatures further away from zero, resistivity is bounded in both cases. As a result, one can consider the metal-in-

insulator transition as, essentially, a quantum phase transition. However, several systems exhibit an abrupt jump in conductivity by several orders of magnitude at finite temperatures. It is therefore natural to extend the metal-insulator transition concept to finite temperatures. The theoretical description of this extension started with Mott's work [4], and grew further with Hubbard's contribution [5], and the description of Brinkman and Rice [6]. Dynamical Mean Field Theory (DMFT) unified the views of Hubbard and Brinkman and Rice and has become the most widely accepted scheme for theoretical description of the Mott transition.

The aforementioned theoretical tools allow us to explain the behavior of compounds such as transition metal oxides. One of the first compounds where Mott transition was ever observed is  $V_2O_3$  doped with chromium or titanium [7]. The transition had been induced by varying pressure, chemical potential, and/or temperature. Since then, the metal-insulator transition has been observed in other physical systems, including: (i) doped semiconductors (such as Si doped with P or B [8, 9]); (ii) two-dimensional electron systems in MOSFETs ("metal-oxide-semiconductor field-effect transistors" [10]) or semiconductor heterostructures (GaAs / AlGaAs) [11, 12]; (iii) systems containing transition metals ( $V_2O_3$ [13],  $VO_2$  [14], NiSe [15], Nb [16]); and (iv) organic conductors (for example,  $\kappa$ -(BEDT TTF) $_2$  Cu[N(CN) $_2$ ]Cl [17]). The transition can now be induced by varying pressure, chemical potential, concentration of dopants, or temperature. Many of these systems are not pure, exhibiting intrinsic or extrinsic disorder.

There are several known mechanisms capable of transforming a metal into an insulator. In the

absence of electron-electron interactions, a sufficiently high level of disorder leads to localization of the particle's wave function, the so-called Anderson localization [18]. Much is known about this mechanism, in particular, a successful scaling theory [19] showed that all states of a particle are localized in the presence of any level of disorder in systems of reduced dimension,  $d \leq 2$ .

When  $d > 2$ , it is necessary to add a minimum amount of disorder to transform the metal into an insulator. This transition is known as the Anderson metal-insulator transition.

Mott proposed that, even in the absence of disorder, electron-electron interactions can, under certain circumstances, induce a metal-insulator transition [20]. Although Mott's original mechanism was essentially based on the long-range character of the Coulomb interactions, a model with interactions of short range was proposed by Hubbard [21, 22, 23]. In this context, a metal-insulator transition may occur for sufficiently strong electronic interactions when there is one valence electron per site of the crystalline network. Transitions induced by electron-electron interactions are known as Mott or Mott-Hubbard transitions. Understanding the interplay between disorders and interactions [24, 25, 26, 27], despite the progress achieved, remains an essentially open problem [3].

Several approaches have been introduced to theoretically describe the Mott transition with Hubbard's series of contributions [21, 22, 23] being one of the first. Starting with the so-called atomic limit, where electron-electron interaction energy is much greater than the kinetic energy of each electron, and the system behaves as an insulator, Hubbard gradually reduces the value of that interaction. The characteristic gap of the Mott insulator, which separates two excitation

bands, known as Hubbard bands, closes at a critical value  $U=U_{cHubb}$  and the system becomes metallic. Brinkman and Rice follow an alternative path [28]. Using the variational wave function proposed by Gutzwiller [29, 30, 31], they analyze how correlated metallic behavior collapses by increased electronic interactions. In this case, at a certain critical value of the  $U=U_{cBR}$  interaction, the quasiparticles of the strongly correlated Fermi liquid disappear and the system becomes insulator. While Hubbard's approach cannot effectively describe the quasiparticles of the correlated metal, the Brinkman-Rice approach does not predict the presence of Hubbard bands. Still, both features are observed experimentally, for example in optical conductivity measurements, which highlights the insufficiency of these two approaches.

## Results and Conclusions

Dynamical Mean Field Theory (DMFT) [32, 33] allowed a more concise description of the Mott transition by unifying the view of Hubbard with that of Brinkman and Rice. DMFT can incorporate, for intermediate values of the interaction  $U$ , both the low-energy Fermi liquid particles and the Hubbard bands at high energies. In this context, the Mott transition is a first order transition, characterized by the disappearance of quasiparticles, with only the finite energy excitations of the Hubbard bands present. The transition is characterized by a region of coexistence between the metal and the insulator, as in the case of supercooling and superheating of the liquid-gas transition. The first order transition line in the diagram of temperature phase versus  $U$  interaction (Fig. 1) ends at a second-order critical point ( $T_c, U_c$ ). Below  $T_c$ , resistivity drops abruptly as a function of  $U$ . This drop smoothens with increasing temperature

and finally disappears at the critical point [3].

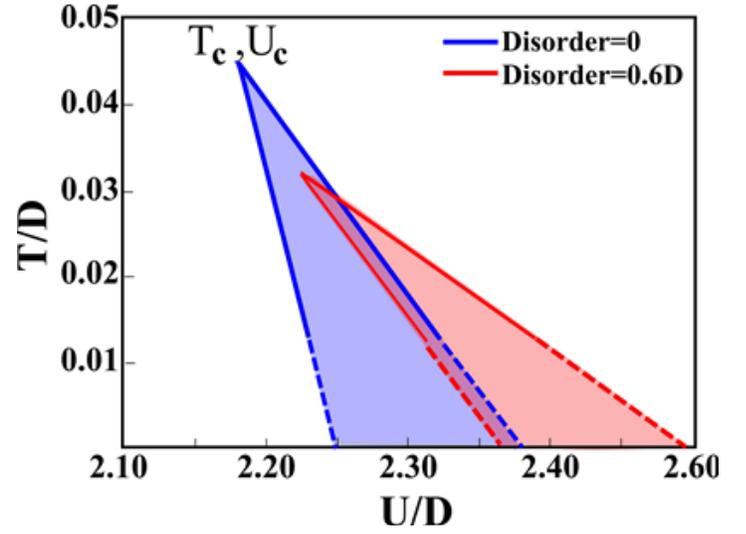


Fig 1:  $T \times U$  phase diagram for the system with and without disorder

DMFT enables the study of strongly correlated electron systems and, with respect to the Mott metal-insulator transition, allows a satisfactory description in simplified models such as the Hubbard model. Its generalization, the Statistical Dynamic Mean Field Theory (StatDMFT), describes disordered systems even more adequately by assuming that various lattice sites have different energies described by a probability distribution, usually uniform or Gaussian [3].

Experimental measurements made on  $NiS_{2-x}Se_x$  and organic compounds demonstrate that the presence of disorder causes the temperature of the critical point to decrease. Experiments conducted on  $NiS_2$ , for example, show that the critical point at which the Mott transition occurs is 150 K, under external pressure of 3 GPa. On the other hand, when Se is substituted for S, yielding  $NiS_{2-x}Se_x$ , the critical point is reduced to 100 K [34, 35].

Although many characteristics of the phase transitions still remain as an open problem, considerable progress has been made to reveal the underlying physics, both theoretically and experimentally. Even greater progress will likely be enabled by advances in the latest, most sophisticated tools, such as machine learning and deep learning [36].

## Acknowledgments

M.Y.S.V and J.H.M acknowledge support by the Texas Center for Superconductivity at the University of Houston and the University of Houston Health Research Institute.

## References

- [1] N. D. Mermin e N. W. Aschcroft, *Solid State Physics*, Saunders College, (1988).
- [2] L. D. Landau e E. M. Lifshitz, *Statistical Physics*, Addison-Wesley, Reading. MA(1969).
- [3] M. Y. Suárez-Villagrán, N. Mitsakos, T. H. Lee, V. Dobrosavljevic, J. H. Miller, Jr, E. Miranda, E, *Phys. Rev. B* 101, 235112 (2020).
- [4] N. F. Mott, *The Basis Of the Electron Theory of Metals with Special Reference to the transition Metals*, *Proc. Phys. Soc.*, 416–422, 62, (1949).
- [5] J. Hubbard, *Electron Correlations in Narrow Energy Bands. III. An Improved Solution*, *Proc. Roy. Soc. (London)*, 401–419, 281, (1964).
- [6] W. F. Brinkman, T. M. Rice, *Application of Gutzwiller’s Variational Method to the Metal-Insulator Transition*, *Phys. Rev. B*, 4302–4304, 2, (1970).
- [7] D. B. McWhan, A. Menth, J. P. Remeika, W. F. Brinkman, and T. M. Rice, *Metal-Insulator Transition in Pure and Doped V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, *Phys. Rev. B.*, 1920–1932, 7, (1973).
- P. Limelette, A. Georges, D. Jérôme, P. Wzietek, P. Metcalf, J. M. Honig, *Universality and Critical Behavior at the Mott Transition*, *Science*, 89–92, 302, (2003).
- [8] T. F. Rosenbaum, R. F. Milligan, M. A. Paalanen, G. A. Thomas, R. N. Bhatt, W. Lin. *Metal-insulator transition in a doped semiconductor*. *Phys. Rev. B* 1983, 27, 7509–7523.
- [9] M. A. Paalanen, R. N. Bhatt. *Transport and thermodynamic properties across the metal-insulator transition*. *Physica B* 1991, 169, 223–230. [10] S. Anissimova, S. V. Kravchenko, A. Punnoose, A.M. Finkel’stein, T.M. Klapwijk. *Flow diagram of the metal insulator transition in two dimensions*. *Nature Phys* 2007, 3, 707–710
- [11] Y. Hanein, U. Meirav, D. Shahar, C.C. Li, D.C. Tsui, Hadas Shtrikman. *The Metalliclike Conductivity of a Two-Dimensional Hole System*. *Phys. Rev. Lett.* 1998, 80, 1288–1292.
- [12] M. P. Lilly, J. L. Reno, J. A. Simmons, I. B. Spielman, J. P. Eisenstein, L. N. Pfeiffer, K. W. West, E. H. Hwang, S. Das Sarma. *Resistivity of Dilute 2D Electrons in an Undoped GaAs Heterostructure*. *Phys. Rev. Lett.* 2003, 90, 056806.
- [14] M. M. Qazilbash, M. Brehm, a. P. Byung-Gyu Chae, G. O. Andreev, Bong-Jun Kim, Sun Jin Yun, A.V. Balatsky, M. B. Maple, F. Keilmann, Hyun-Tak Kim, D. N. Basov. *Mott Transition in V O<sub>2</sub> Revealed by Infrared Spectroscopy and Nanolmaging*. *Science* 2007, 318, 1750–1753.
- [15] J. Mazzaferro, H. Ceva, B. Alascio. *Intermediate-valence effects on the phase diagram of N iS<sub>2</sub> – xSex*. *Phys. Rev. B.* 1980, 22, 353.
- [16] P. Lederer, H. Launois, J. P. Pouget , A. Casalot, G. Villeneuve. *Contribution to the study of the metal-insulator transition in the V 1 – xN bxO<sub>2</sub> system-II magnetic properties*. *Journal of Physics and Chemical of Solid* 1972, 33, 1961–1967.

- [17] P. Limelette, P. Wzietek, S. Florens, A. Georges, T. A. Costi, C. Pasquier, D. Jerome, C. Meziere, P. Batail. Mott Transition and Transport Crossovers in the Organic Compound  $\kappa$  - (BEDT - TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$ ]Cl. Phys. Rev. Lett. 2003, 91, 016401.
- [18] P. W. Anderson. Absence of Diffusion in Certain Random Lattices. Phys. Rev. 1958, 109, 492.
- [19] E. Abrahams, P. W. Anderson, D. C. Licciardello, T. V. Ramakrishnan. Scaling Theory of Localization: Absence of Quantum Diffusion in Two Dimensions. Phys. Rev. Lett. 1979, 42, 673.
- [20] N. F. Mott, Metal-Insulator transition, Taylor & Francis, London, 1990.
- [21] J. Hubbard. Electron correlations in narrow energy bands. Proc. R. Soc. (London) A 1963, 276, 238.
- [22] J. Hubbard. Electron correlations in narrow energy bands- II- The degenerate band case. Proc. Roy. Soc. (London) A 1964, 277, 237.
- [23] J. Hubbard. Electron correlations in narrow energy bands - III - An improved solution. Proc. Roy. Soc. (London) A 1964, 281, 401.
- [24] C. Castellani, C. D. Castro, P. A. Lee, M. Ma. Interaction-driven metal-insulator transitions in disordered fermion systems. Phys. Rev. B 1984, 30, 527.
- [25] C. Castellani, B. G. Kotliar, P. A. Lee. Fermi-liquid theory of interacting disordered systems and the scaling theory of the metal-insulator transition. Phys. Rev. Lett. 1987, 56, 1179.
- [26] P. A. Lee, T. V. Ramakrishnan. Disordered electronic systems. Rev. Mod. Phys. 1985, 57, 287.
- [27] B. L. Altshuler, A. G. Aronov. Zero bias anomaly in tunnel resistance and electron-electron interaction. Solid State Commun. 1979, 30, 115.
- [28] W. F. Brinkman, T. M. Rice. Application of Gutzwiller's Variational Method to the Metal-Insulator Transition. Phys. Rev. B 1970, 2, 4302.
- [29] M. C. Gutzwiller. Effect of Correlation on the Ferromagnetism of Transition Metals. Phys. Rev. Lett. 1963, 10, 159-162.
- [30] M. C. Gutzwiller. Effect of Correlation on the Ferromagnetism of Transition Metals. Phys. Rev. 1964, 134, A923-A941.
- [31] M. C. Gutzwiller. Correlation of Electrons in a Narrow s Band. Phys. Rev. 1965, 137, A1726-A1735.
- [32] W. Metzner, D. Vollhardt. Correlated Lattice Fermions in  $d = \infty$  Dimensions. Phys. Rev. Lett. 1989, 62, 324-327.
- [33] A. Georges, G. Kotliar, W. Krauth, M. J. Rozenberg. Dynamical mean-field theory of strongly correlated fermion systems and the limit of infinite dimensions. Rev. Mod. Phys. 1996, 68, 13.
- [34] Y. Sekine, H. Takahashi, N. Mori, T. Matsumoto, and T. Kosaka, Physica B 237, 148 (1997).
- [35] S. Miyasaka, H. Hiraka, K. Yamada, and Y. Endoh, J. Phys. Soc. Jpn 69, 1503 (2000).
- [36] Villagrán, M., Mitsakos, N., Miller, J. & Azevedo, R. Using machine learning to understand mutations. Bulletin of the American Physical Society 65, G20.08 (2020).

# La mecánica cuántica y la necesidad de incluirla en los planes de estudio

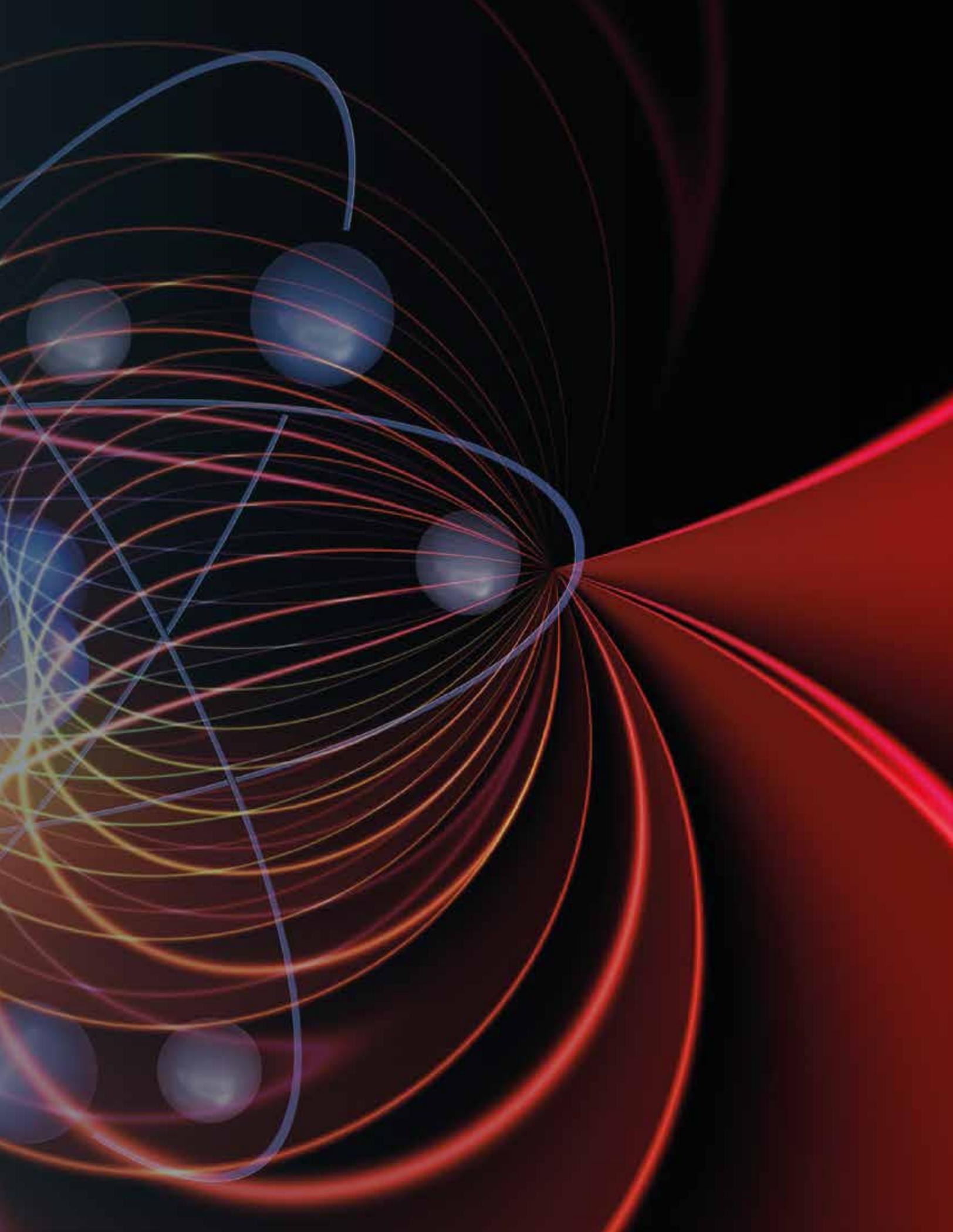
## Quantum mechanics and the need to include it in study plans

*Jeisson Martin Calvo<sup>1</sup>  
Alexander Martin Calvo<sup>2</sup>*

*DOI: 10.29151/reit.n1a2*

<sup>1</sup>Profesor Titular, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor Asociado, Facultad de Ciencia y Tecnología Universidad Pedagógica Nacional. Colombia;  
jfmartinc@pedagogica.edu.co, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-9677>

<sup>2</sup>Profesional de Autoevaluación y Currículo, Unimonserrate. Colombia;  
jamartin@unimonserrate.edu.co, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9718-9185>



## Resumen

En este trabajo se expresan las ideas que se generaron a partir de la elección del tema de mecánica cuántica (MC) y la reflexión sobre la necesidad de incluirla en los planes de estudio. Mediante el análisis de información, se planteó un fundamento teórico que resultó adecuado en términos epistemológicos con el fin de indagar de forma crítica la inclusión de tópicos de mecánica cuántica en los diseños curriculares. Los resultados obtenidos se presentan desde los aspectos generales de la MC, hasta el aprendizaje y su enseñanza tomando como referente lo que se realiza en torno a este tema de investigación a nivel local e internacional. Donde se resalta la importancia de implementar en Colombia propuestas de investigación en enseñanza de las ciencias y la ingeniería que incluyan la aplicación de tópicos de física moderna.

Palabras clave: Diseño curricular; Enseñanza de la física; Mecánica cuántica; Física moderna.

## **Abstract**

In this paper we express the ideas that were generated from the choice of the topic of quantum mechanics (CM) and the reflection on the need to include it in the curricula. Through the analysis of information, a theoretical foundation was proposed that was adequate in epistemological terms in order to critically investigate the inclusion of quantum mechanics topics in the curricular designs. The results obtained are presented from the general aspects of CM, to learning and teaching, taking as a reference what is done around this research topic at a local and international level. The importance of implementing research proposals in science and engineering education in Colombia that include the application of modern physics topics is highlighted.

Keywords: Curriculum Design; Physics Teaching; Quantum Mechanics; Modern Physics.

## Introducción

En este manuscrito de reflexión, se realiza un análisis de las visiones epistemológicas relacionadas con la mecánica cuántica MC. Del mismo modo, se hace una síntesis sobre los aspectos generales de la MC con el fin de indagar sobre algunas interpretaciones. Así mismo, se discute el problema de la medición en MC, la paradoja del gato de Schrödinger y se describe la paradoja EPR que sirvió como pauta para producir diversas interpretaciones de la teoría cuántica. Se presenta, el análisis de hechos experimentales desde la visión de Feynman de la experiencia de la doble rendija. También, se discute sobre las revoluciones científicas y el aprendizaje de las ciencias. Partiendo de este análisis, se plantean las siguientes preguntas de conocimiento: ¿Cuáles son los fundamentos teóricos generales de la MC?, ¿Qué implica la enseñanza y el aprendizaje de la mecánica cuántica? ¿Porque enseñar nociones de física cuántica en la escuela? ¿Se debe incluir la mecánica cuántica en el diseño curricular y los planes de estudio en Colombia?

En una aproximación a la revisión de la literatura para acotar el tema de la enseñanza de la MC se tomó como referencia a Fanaro (2009), Greca y Moreira (2001), Ostermann y Moreira (2000) y Paulo (2006). En la búsqueda de la información se tuvieron en cuenta aspectos referentes a la enseñanza desde una visión histórica y epistemológica de la física cuántica; que se pueden encontrar en Gil y Solbes (1993) y Castañeda (2005). Sobre las ideas de los investigadores entorno a los contenidos curriculares de la mecánica cuántica se encontró en Vicario & Venier (2010) un referente sobre el debate de la enseñanza de la física en América latina donde se expone la realidad de la enseñanza de la mecánica cuántica en países

como Brasil, Argentina y Colombia, planteando un debate sobre la inclusión de nociones cuánticas en los planes de estudio. Por último, se revisaron las propuestas didácticas sobre la enseñanza de nociones cuánticas en cursos de educación media y universitarios haciendo referencia a los trabajos desarrollados por Paulo y Moreira (2004) y otras visiones donde se utiliza el enfoque de caminos múltiples de Feynman como el trabajo realizado por Ogborn (2003) del Instituto de Educación de la Universidad de Londres donde plantean un currículo de física basado en nociones de física moderna desde la perspectiva cuántica de Feynman.

## Materiales y métodos

Este manuscrito es de carácter reflexivo documental, para formalizar una aproximación teórica sobre la mecánica cuántica y abordar las preguntas de conocimiento planteadas con el fin de abordar de forma crítica la necesidad de incluirla en los diseños curriculares, se realizaron las heurísticas de estudios tomados de bases de datos como EBSCO, Dialnet, Latindex, Redalyc, y scielo entre otras. Para obtener dichos trabajos se realizaron búsquedas de acuerdo a la temática planteada y aspectos como relevancia, índices de citación y palabras clave entre otros.

## Resultados y discusión

Para la reflexión sobre la enseñanza de la mecánica cuántica, se planteó un fundamento teórico que hace referencia a aspectos generales de la MC, el problema de la medición en MC, la paradoja EPR, los hechos experimentales, ¿Qué involucra la enseñanza y el aprendizaje de la MC y la Enseñanza de la MC en Colombia que se presentan a continuación:

## Aspectos generales de la MC

La mecánica cuántica estudia el comportamiento de la materia y ha contribuido no solo al desarrollo del pensamiento científico, sino también a la forma de ver el mundo y de relacionarnos con éste. Su aplicación ha contribuido al desarrollo de instrumentos tecnológicos que facilitan la comunicación como satélites, teléfonos celulares, computadores cuánticos y dispositivos electrónicos, entre otros. La MC ha estado acompañada de análisis filosóficos y epistemológicos que marcaron precedentes esenciales en la comprensión de la naturaleza.

Debido al surgimiento de la relatividad y la MC la física se fraccionó en dos partes la macroscópica y la microscópica, admitiendo la teoría de la relatividad y la cuántica como la física moderna. La relatividad hizo replantear el aspecto epistemológico subjetivo de la física. Sin embargo, con el transcurso del tiempo la subjetividad continuó influyendo en el estudio de fenómenos naturales lo que implica que no se podía abandonar. Esto tiene que ver con que la probabilidad es subjetiva y está relacionada con el conocimiento que se tiene de las cosas, siendo esta categorizada como trascendental para las leyes físicas por la MC. La probabilidad, se puede considerar como un concepto peculiar ya que, para obtener un resultado detallado y verdadero, primero se crea un conocimiento impreciso de lo que es probable. Lo que parece ir en contra de la seguridad en donde el conocimiento es lo establecido y los hechos son los actos. Además, de manera habitual la probabilidad es considerada como lo opuesto a los hechos, en cuanto a que si algo es probable no debe tomarse como un hecho real.

La teoría cuántica plantea que los hechos que han sido observados son probabilidades, entonces el

resultado de una observación definido como un hecho tiene valor científico pues da la posibilidad de que otro hecho ocurra. En comparación con la física clásica, la teoría cuántica enuncia que los resultados de las mediciones experimentales pueden establecer un conocimiento inexacto de lo observado y las probabilidades son en realidad lo objetivo. El indeterminismo de la física cuántica indica que los valores de las cantidades que pueden predecirse son incertidumbres, son valores que se pueden conocer con el pasar del tiempo. El principio de Heisenberg plantea que la posición de un electrón en un instante de tiempo sólo puede ser conocida con incertidumbres dependientes entre sí y la posición del electrón un segundo después de la observación tiene incertidumbre. De esta forma, no es posible conocer simultáneamente la posición y la velocidad. El problema de la incertidumbre en el conocimiento señalado por Heisenberg establece la relación entre teoría y realidad, afirma que en el proceso del desarrollo de conceptos científicos se presentan idealizaciones expresadas de forma axiomática que se producen de las experiencias, generando que se acoplen a esquemas matemáticos; esta idealización suscita la pérdida del contacto con la realidad, tal que: “los conceptos siguen ajustándose no muy bien a aquella realidad parcial que ha construido el objeto de investigación” (Heisenberg, 1963, p.131).

La MC afirma que lo que realmente se observa son probabilidades. Por lo tanto, se puede plantear que la síntesis del conocimiento teórico de la física moderna se relaciona con la observación de forma irreversible y esta relación resulta análoga al concepto de probabilidad. Esto permite que los conocimientos derivados de hechos experimentales se interpongan en el determinismo, lo cual genera el indeterminismo de la física moderna en términos de su contenido experimental. Se puede

decir que el resultado de un proceso experimental en física es una afirmación, pero con la aceptación de la probabilidad la afirmación se limita a su grado.

Por otra parte, la MC cuestiona la validez del concepto de causalidad que establece la regla de la causa y el efecto. El concepto de causa se ha transformando en el tiempo ya que la percepción del hombre por los fenómenos de la naturaleza ha cambiado. Inicialmente, la causa hacía referencia a algo que antecedía una acción para explicar qué la provocó. Heisenberg (1985), mencionó que cuando algo sucede se supone que algo ocurrió previamente. El significado del concepto de causalidad se fue transformando hasta ser interpretado como una serie de eventos naturales determinados de tal forma que lo que sucede es suficiente para predecir el futuro. La física newtoniana está estructurada bajo este significado y si se conoce el estado inicial de un sistema en determinado tiempo, se puede determinar su futuro comportamiento. Partiendo de la causalidad, Laplace insinuó que, si en un instante se conoce la posición y el movimiento de átomos, sería viable calcular el destino del universo. Cuando se da una interpretación como la anterior a la causalidad se caería en determinismo causal. La física permaneció inclinada al determinismo hasta las investigaciones de Planck sobre la teoría de la radiación, donde se demostró que un átomo radiante no lanzaba su energía de forma continua sino discontinua. El suministro discontinuo de energía llevo a formular la hipótesis respecto a la emisión de radiación como un fenómeno estadístico en concordancia con la teoría atómica que posteriormente se reformuló haciendo uso de la estadística, dejando atrás el determinismo.

Por un lado, en física cuántica se tiene la incertidumbre planteada por Heisenberg y por otro

lado la segunda formulación presentada por Bohr donde se presentó la discrepancia con la postura de Heisenberg por la no inclusión del dualismo entre ondas y partículas. Luego se estableció que ambas posturas eran equivalentes y que la incertidumbre es un caso particular de una dualidad conocida como la complementariedad entendida como: “diferentes imágenes intuitivas destinadas a describir los sistemas atómicos pueden ser todas perfectamente adecuadas a determinados experimentos, a pesar de que se excluyan mutuamente” (Heisenberg, 1985, p.35).

Un átomo es representado como un sistema que tiene un núcleo atómico en el centro y electrones que giran en torno a el núcleo, en concordancia con el modelo de Bohr. Sin embargo, en otros experimentos se representa el núcleo atómico envuelto por un sistema de ondas estacionarias de frecuencia que determinan la radiación del átomo. Cada representación del átomo es verídica si se usa en el análisis adecuado, pero son incongruentes unas con otras. Los experimentos que evidencian la naturaleza ondulatoria y corpuscular de la materia exigen la formulación de regularidades estadísticas. En los fenómenos macroscópicos, la estadística de la física cuántica no cumple un papel trascendental porque al aplicar las leyes a estos fenómenos se obtienen altas probabilidades, estableciendo comportamientos que son determinados.

### **El problema de la medición en MC**

El conocimiento científico depende de la experimentación y los resultados preliminares son corregidos por otros con nuevas condiciones. El método experimental derivado del positivismo, exige que la física tenga un proceso definido de observación estableciendo el problema de la medida.

En física clásica la medición no es un problema, pero en física cuántica sí. En la clásica el sistema actúa en el instrumento de medición modificándolo y obteniendo un valor de medida, pero el observador puede ignorar el aparato de medida realizando una inferencia sobre el valor del observable. Si esto sucede, se supone despreciable la acción del aparato sobre el sistema. Por el contrario, en la física cuántica es importante incluir un tipo de acción que va del instrumento de medida al sistema medido. En la teoría cuántica, los instrumentos de medición que se utilizan no son adecuados para observar un átomo sin perturbarlo. En MC se considera el proceso de medición como un problema, porque en este proceso no se le asocian valores puntuales a los observables. El cambio de un estado inicial del sistema antes de la medición al estado final donde al observable se le asocia un valor, crea un colapso de estado. Se genera el interrogante si es posible que el observador genere este colapso, para responder esto se han planteado paradojas entre estas el gato de Schrödinger.

La paradoja del gato de Schrödinger consiste en que, dentro de una caja cerrada donde no se puede observar, se ubica un gato vivo y un núcleo radiactivo. Al emitir la correspondiente radiación se activa un dispositivo que liberará un gas venenoso y producirá la muerte del gato. Si se desea saber el estado del gato en un futuro instante se debe plantear un estado combinado gato vivo y gato muerto. Esta paradoja expresa que en MC al observar un sistema todos los estados son posibles y que al hacer una medición el sistema cae en colapso. En esta paradoja se observaría el gato vivo o muerto, pero únicamente en el instante que se abre la caja para realizar la observación. Esta característica de la MC genera el rompimiento de la objetividad y el determinismo.

## La paradoja EPR

Einstein, Podolsky y Rosen (EPR) plantearon una paradoja que generó un debate cuántico ya que este sirvió como pauta para producir interpretaciones de la teoría cuántica. Einstein planteó un estado corpuscular para las ondas electromagnéticas, luego de Broglie esbozó el estado ondulatorio de los corpúsculos; después se planteó la ecuación de Schrödinger obteniendo soluciones que conciernen a ondas, las cuales Born interpretó de forma probabilística. Posteriormente, Heisenberg propuso el principio de incertidumbre generando el indeterminismo en MC.

Einstein indagó sobre la relación tiempo y energía del principio de incertidumbre. Con un experimento mental, intentaba probar que la MC era incompleta. El experimento que planteó consistía en un sistema cuántico representado por una caja llena de fotones, en este sistema cuántico se deja escapar un fotón por medio de un obturador en un tiempo corto, que cuenta con un reloj de precisión ubicado en la caja. El principio de incertidumbre no permite decretar la energía del fotón con precisión. Pero Einstein en contravía a este principio planteó que la energía, en este caso se podría determinar pesando la caja justo antes y después de que el fotón escapara. Partiendo de la diferencia en la masa de la caja se podría dar la energía del fotón. De esta manera, logró poner en duda el principio de incertidumbre que es considerado como fundamental en MC.

Por otra parte; Bohr utilizó la teoría de la relatividad para refutar la idea de Einstein. La relatividad plantea que un intervalo de tiempo medido por un reloj se desplaza influido por un campo gravitacional que se evidencia en el corrimiento al rojo. Bohr planteó que el reloj es desplazado al moverse la caja de fotones cumpliendo con la re-

lación que el producto de la energía y el intervalo de tiempo es mayor igual a la constante de Planck poniendo a salvo la MC. En 1935 sale a la luz la paradoja EPR que partía de una postura filosófica realista y suponía que el formalismo de la teoría cuántica era completo y el sistema separable. La EPR demostró que la MC no es completa y se planteó que si la lógica clásica es válida el formalismo de la MC aceptaba el realismo y con ello la separación de los sistemas. Idea que la MC no contemplaba, dando paso a diferentes interpretaciones de la teoría de los cuantos.

### Hechos experimentales

Feynman manifestó que la MC podía evidenciarse con el experimento de la doble rendija, Young (1802) propuso este experimento obteniendo como resultado el comportamiento ondulatorio de la luz. Según Martin (2014), en este diseño experimental Young hizo incidir un haz de luz sobre un diafragma circular y colocó dos agujeros en una cartulina, luego cambió los agujeros por rendijas mejorando la calidad de la señal luminosa, Young describió su experiencia sin expresar ningún desarrollo matemático ni la fuente que utilizó, lo que historiadores de la ciencia como Worral (1976), interpretan como un experimento mental.

Posteriormente, en 1905 se halla que la luz también se comporta como corpúsculos o fotones confirmando el carácter dual de la luz onda-partícula. De esta manera, si se desea estudiar el comportamiento corpuscular de la luz con el experimento de la doble rendija se disminuye la intensidad de la luz, si se realiza la experiencia tapando la rendija derecha lo que se observa es una línea iluminada, si luego se tapa la otra rendija los fotones pasan por la rendija derecha que está abierta y lo que se observa es que se forma una línea semejante a la anterior, pero corrida hacia

la derecha porque los fotones pasan a través de la rendija derecha. Si ahora se dejan abiertas las dos rendijas los puntos que se ven iluminados en el caso de una de las rendijas se verán oscuros y viceversa.

Las explicaciones basadas en la física clásica no permiten la comprensión de este fenómeno que se da como resultado del comportamiento ondulatorio de las partículas y genera el fenómeno de interferencia. Lo que se esperaría obtener en un experimento con partículas es que al hacer el experimento con las dos rendijas se observe en la pantalla la suma de las partículas que pasan a través de la rendija derecha más las que pasan por la izquierda. Sin embargo, el resultado que se obtiene es distinto, lo que acontece es que el fotón pasa por las dos rendijas al mismo tiempo.

Feynman (1965), interpreta el efecto de interferencia que se origina afirmando que el electrón o el fotón hacen lo que quiere. Este experimento arroja un resultado sorprendente ya que si se quiere saber por dónde pasa cada fotón y se instalan detectores en cada rendija desaparece del patrón de difracción observándose el comportamiento corpuscular de la luz. En el caso de no observarlo, su comportamiento es de carácter ondulatorio. Es decir que la observación cambia la realidad.

### ¿Qué involucra la enseñanza y el aprendizaje de la MC?

La mecánica cuántica ha sido fundamental en el desarrollo de la humanidad ya que ha influido en campos de la actividad cognitiva como la filosofía y epistemología. La MC es la base para entender la estructura de la materia de orden microscópico y ha forzado el cambio de la interpretación clásica de fenómenos. La llegada de la MC planteó una transformación sobre la medida de magnitudes físicas de sistemas cuánticos; hecho que se formali-

za con el principio de incertidumbre dejando atrás el determinismo de la física clásica y adoptando la probabilidad que suceda un evento.

En la actualidad la tecnología se desarrolla con base en la MC por ejemplo la computación cuántica, criptografía, seguridad informática, superconductividad y la nanotecnología. La aplicación de la MC es evidente en la electrónica de los aparatos que se utilizan habitualmente; siendo ésta fundamental en la comprensión del presente y del futuro de la sociedad. Es por esto que la cuántica se debe incluir en los diseños curriculares para que los estudiantes se apropien de un conocimiento científico, cultural y cotidiano que les permita comprender el mundo en el que viven, analicen el futuro y los cambios tecnológicos.

Un primer paso a seguir en la enseñanza de la MC es que se aborde a partir de fenómenos simples con el fin de conceptualizar. Así mismo, los estudiantes deben ir más allá de las experiencias sensoriales y acudir a modelos que contienen propiedades abstractas. Chinn y Brewer (1993), plantean que el estudio del cambio conceptual en el mundo científico es una herramienta para entender la construcción de conocimiento en la clase de ciencias. Una de las formas de lograr el cambio conceptual para indagar sobre el mundo microscópico es remitirse a la historia y filosofía de la MC. Basándose en la historia y epistemología de las ciencias se ha relacionado la manera en que los científicos se enfrentan al conocimiento desde la investigación y en como los estudiantes asimilan el conocimiento científico sobre los fenómenos de la naturaleza que se contraponen a sus creencias. Trabajos como los de Gil y Solbes (1993), mostraron la implementación en el aula en España desde esta visión, concluyendo que los estudiantes lograron diferenciar la concepción cuántica de la clásica. Castañeda (2005), propone reflexiones

históricas y epistemológicas para tener en cuenta en la enseñanza y el aprendizaje de la física cuántica pero no realiza la aplicación.

La epistemología es una herramienta que permite el entendimiento e interpretación de las teorías científicas y el análisis filosófico. Si el contexto de aprendizaje no promueve un desarrollo conceptual estableciendo significados se originará un fracaso en la construcción de nuevos modelos mentales esenciales en el razonamiento y la comprensión de las ideas científicas en MC. Sin embargo, una indagación epistemológica facilitará la construcción de un nuevo modelo mental que reconozca el mundo a escala microscópica; siendo esta un instrumento en la enseñanza de la física, en este caso en la enseñanza de la MC.

Sin embargo, el paradigma del cambio conceptual fue abandonado y el marco teórico de la investigación sobre la enseñanza de la MC sugiere abordarla desde la teoría de campos conceptuales (TCC) de Vergnaud (1990) y los lineamientos didácticos desarrollados por Otero (2008,2011) sin hacer énfasis en una visión estrictamente histórica del desarrollo de la MC y utilizando una matemática acorde a la formación de los estudiantes.

Las propuestas relacionadas con el enfoque de Feynman nombradas en Fanaro (2009), utilizan la técnica de Caminos Múltiples centradas en el comportamiento de la luz con fotones utilizando herramientas computacionales, Fanaro (2009) utiliza el enfoque de la integral de caminos como herramienta en el análisis del comportamiento cuántico de electrones desde la aceptación de su comportamiento corpuscular utilizando el experimento de la doble rendija con proyectiles muy pequeños hasta llegar a los electrones, indagando de esta forma sobre los principios básicos que plantea la mecánica cuántica como el principio de superposición de estados, el de incertidumbre y el de correspondencia contribuyendo a la inves-

tigación en el área de la enseñanza de la mecánica cuántica.

### Enseñanza de la MC en Colombia

En Jaramillo, Arroyave, Higueta, & López (2012), se afirma que en Colombia durante el proceso de enseñanza de la física en la mayoría de programas de pregrado no se abordan teorías de la física moderna como la MC. Se considera aquí que el estudio del comportamiento cuántico transformaría la enseñanza de la física, que en Colombia se encuentra limitada a la enseñanza de la física clásica. En el ámbito nacional los trabajos encontrados fueron elaborados por investigadores de la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Pedagógica Nacional, la Universidad de Antioquia y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas sobre la enseñanza de la MC en cursos universitarios. Algunos estudios se centraron en reflexiones netamente históricas y epistemológicas, mientras otros en aspectos disciplinares con desarrollos matemáticos complejos.

El trabajo realizado por Mendoza & Rozo (2011), presenta una reflexión sobre el principio de superposición de estados partiendo del concepto de estado de la mecánica clásica y de la MC afirmando que a los estudiantes se les dificulta la comprensión de este principio. También plantean el uso de analogías desde un contexto clásico y cuántico para la conceptualización y establecen el principio de superposición desde la teoría clásica y la teoría cuántica, en contraparte con el uso de conceptos clásicos para la interpretación de nociones cuánticas se afirma que:

**Los resultados de las investigaciones sobre las ideas de los estudiantes acerca de conceptos cuánticos parecen sugerir que los estudiantes investigados no logran formar modelos mentales que les permitan visualizar cuánticamente la fenomenología microscópica. O sea, los nuevos conceptos, necesarios para tal descripción, son entendidos a partir de núcleos derivados de la fenomenología y la visión clásica, de forma que los estudiantes no consiguen elaborar explicaciones o predicciones en concordancia con las científicamente aceptadas. (Greca & Herscovitz, 2002. p.329).**

En la revisión de la literatura respecto a la investigación sobre la enseñanza de la MC en Colombia se encontraron pocos referentes. Vale la pena rescatar el trabajo realizado por Moreno & Guarín (2010), que desarrollan un estudio de la enseñanza de nociones básicas de MC como la dualidad de la materia y el principio de superposición de estados. Los autores aproximan un grupo de estudiantes a concepciones alternativas de los conceptos antes mencionados desde la teoría cuántica. En el trabajo se tuvo en cuenta las dificultades al presentar las nociones cuánticas y diseñaron una estrategia didáctica basada en el uso de analogías, discusiones, montajes experimentales sobre oscilaciones armónicas y el uso de videos sobre el experimento de la doble rendija. La estrategia se aplicó en tres momentos. El primero sobre la idea de pequeño; el segundo sobre la dualidad de la materia y el tercero sobre el principio de superposición de estados. Los resultados les permitieron suponer que es posible implementar temas de mecánica cuántica en la escuela media colombiana. Sin embargo, investigadores de la enseñanza de la MC como Greca y Moreira (2000) y Fischler & Lichtfeldt (1992) recomiendan explicar los fenómenos observados a partir de la interpretación estadística y evitar las descripciones duales en

contraposición a lo que se desarrolla en el segundo y tercer momento del trabajo.

Habitualmente los estudiantes creen que la física está ligada a conocimientos que conciernen a problemas específicos que se plantean en los textos; y no al vínculo de concepciones y principios adaptables a fenómenos. Según Martín (2014), esto sucede debido a que el aprendizaje pasivo se ha convertido en un proceso habitual en la enseñanza de las ciencias; sometiendo el proceso de la enseñanza a aspectos teóricos y descontextualizados que se han convertido en acciones usuales, estableciendo condiciones en el proceso de enseñanza donde el docente y los libros son las autoridades. Para Sanmarti (2002), algunas de las razones del fracaso en la enseñanza de las ciencias apuntan entre otros factores a la falta de formación de los docentes en las disciplinas, al planteamiento curricular desactualizado de las asignaturas y al desconocimiento de estrategias metodológicas que les permitan desarrollar los temas haciendo uso de herramientas que resulten atractivas para los estudiantes.

Partiendo de lo expuesto en eventos de divulgación científica como la escuela de Física y Matemáticas organizada por la Universidad de Los Andes, que ha abordado temas de Teorías cuánticas conformes y sus aplicaciones, Sistemas integrables cuánticos y las matemáticas del enredamiento, entre otros y del debate sobre la inclusión de la enseñanza de la física moderna en Latinoamérica esbozado a partir de los trabajos presentados en la X Conferencia Interamericana sobre Educación en física realizada en Medellín (Colombia). Donde se plantearon los avances que se han logrado en la enseñanza de la mecánica cuántica en países como Brasil y Argentina. Se determinó incluir dentro del diseño curricular y el plan de estudios de los programas de ingeniería de la Fundación

Universitaria Monserrate abordar en algunos espacios académicos tópicos de la física moderna, con el fin de obtener una claridad conceptual de la MC con los estudiantes de la Escuela de Ingenierías y tecnologías. Para Arriasecq (2008), estas reformas introducidas por varios países en los currículos han impuesto una actualización de los mismos, introduciendo temas que se encuadran en la física contemporánea.

En la actualidad no tiene sentido aferrarse a la creencia que la física moderna, particularmente la mecánica cuántica está restringida a la comunidad científica, sino que es posible hacerla parte de la cultura de una población mediante la aplicación de didácticas específicas de la enseñanza de la física como la estructura conceptual de referencia propuesta por (Fanaro, 2009) donde la integral de caminos múltiples de Feynman (1949) se usa con el fin de realizar un diseño didáctico para analizar el comportamiento cuántico de electrones utilizando la experiencia de la doble rendija. Haciendo evidente que la teoría cuántica no es algo difícil ni abstracto si el componente matemático es adaptado y no como se acostumbra ser presentada con una formulación canónica, temática que debe formar parte del conocimiento elemental que alimenta la cultura de una población.

Con el fin de abordar el problema de la enseñanza de la MC, se sugiere tomar como referencia los trabajos realizados por Fanaro, Arlego, & Otero (2006); Arlego (2008); Fanaro, Arlego, & Otero, (2006); Fanaro, Arlego, & Otero (2007); Arlego (2008); Mendoza Cely & Rozo Clavijo (2011); Vicario & Venier (2010); Castañeda (2005); Fanaro (2009); Greca (2000); Ostermann & Moreira, (2000); Simas (1999); Greca & Moreira, (2004); Greca, Moreira, & Herscovitz (2001) y Paulo (2006).

## Conclusiones

La baja asimilación de contenidos científicos genera el interés en promover cambios curriculares dirigidos a superar las dificultades respecto a la escasa apropiación de conceptos de la física moderna.

En la literatura sobre la enseñanza de la MC en Colombia se encontraron pocos referentes, en general la enseñanza de la física moderna en el país se encuentra restringida a conceptos clásicos y las temáticas que se refieren a la MC no se incluyen en los currículos. Las investigaciones que se encontraron hacen referencia al estudio de la enseñanza de la MC en carreras de pregrado y posgrados como física, química y algunas ingenierías unas desde una visión netamente histórica y filosófica y otras disciplinares con estricto desarrollo matemático. Es por esto que surge la necesidad de incluir tópicos de física moderna en los diseños curriculares y en los planes de estudio en educación secundaria y universitaria.

En las experiencias que se analizaron sobre la enseñanza de la MC en colombiana se identificó desde la óptica de investigadores de la enseñanza de la MC que tienen dificultades en términos del uso de analogías con la física clásica y la utilización de descripciones duales. Además del uso de matemática complicada en contraposición a la utilización de una descripción estadística.

## Agradecimientos

A la Escuela de Tecnologías e Ingenierías de la Fundación Universitaria Unimonserrate, al Núcleo de Investigación en Ciencias para Ingeniería Sanitaria NICIS y al programa de Licenciatura en Ciencias naturales y educación ambiental de la Universidad Pedagógica Nacional.

## Referencias

- Arlego, M. (2008). Los fundamentos de la mecánica cuántica en la escuela secundaria. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 59-66.
- Arriasecq, I. (2008). La enseñanza y el aprendizaje de la Teoría Especial de la Relatividad en el nivel medio/polymodal (tesis doctoral). Universidad de Burgos. España.
- Castañeda Gallego, L. F. (2005). Algunas reflexiones históricas y epistemológicas a tener en cuenta en la enseñanza y el aprendizaje de la física cuántica (tesis especialización en docencia universitaria). Universidad de Caldas (Colombia).
- Chinn, C., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Fanaro, M. (2009). La Enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media. (Tesis Doctoral). Universidad de Burgos. Burgos.
- Fanaro, M., Arlego, M., & Otero, M. R. (2006). Los caminos múltiples de Feynman y la mecánica cuántica en la escuela media. *Actas del 8 Simposio de Investigación en Educación en Física Asociación de Profesores de Física de la Argentina (APFA)*, 161-169.
- Fanaro, M., Arlego, M., & Otero, M. R. (2007). El método de caminos múltiples de Feynman para enseñar los conceptos fundamentales de la Mecánica Cuántica en la escuela secundaria secundaria. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 233-260.
- Feynman, R. (1999 p.28). *El placer de descubrir*. Drakonos.
- Feynman, R. (Vol III 1965). *Lectures on Physics*.

- Feynman, R. (1987). Física, Volumen III, Mecánica cuántica. Addison-Wesley Iberoamericana S.A.
- Fischler, & Lichtfeldt. (1992). Modern Physics and students' conceptions. *International Journal of Science education*, 181-190.
- Greca, I. (2000). *Construindo Significados Em Mecânica Quântica: Resultados De Uma Proposta Didática Aplicada a Estudantes De Física Geral* (Tesis Doctoral).
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2001). Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 23, no. 4, 444-457.
- Greca, I. M., Moreira, M. A., & Herscovitz, V. (Dezembro, 2001). Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 23, no. 4, 444-457.
- Greca, I., & Herscovitz, V. (2002). Construyendo significados en mecánica cuántica: Fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel Universitario. *Revista enseñanza de las Ciencias*, Vol20, 329.
- Greca, I., & Moreira, M. A. (2004). Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de conceptos cuánticos Instituto de Física. UFRGS, Brasil.
- Heisenberg, W. (1963). El papel de la física moderna. *Revista Universitas*, 131.
- Heisenberg, W. (1985). *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Barcelona: Ediciones Orbis.
- Jaramillo Zapata, J. E., Arroyave Echavarría, J. E., Higuera Giraldo, J. D., & López Ríos, S. Y. (2012). Una aproximación al despertar de la enseñanza de la física. *Revista EDUCyT*, 18.
- Martin Calvo, J. F. (2014). *Aprendizaje activo aplicado a la enseñanza del fenómeno óptico de interferencia de la luz en el marco del proyecto ondas de ciencias en la Isla de San Andres*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Mendoza Cely, D. M., & Roza Clavijo, M. (2011). el principio de superposición de estados, revista científica. Volumen Extra. Año 2011, 61-65.
- Moreira, M. A., & Greca, I. (2000). Em Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. *Introdução a Mecânica Quântica: seria o caso de evitar a aprendizagem significativa (subordinada)* Peniche, Portugal.
- Moreno, H., & Guarín, E. (2010). Nociones cuánticas en la escuela secundaria: Un estudio de caso. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 4, No. 3, Sept. 2010, 669-676.
- Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2000). Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Investigación didáctica*, 391-404.
- Otero, M. R. (2008). *Actas del V Semana de Investigación Programa Internacional De Doctorado En Enseñanza De Las Ciencias UBU/UFRGS. Enseñanza de las Ciencias: Aspectos Didácticos, Cognitivos y Afectivos*. Porto Alegre. Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2000). Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Investigación didáctica*, 391-404.
- Paulo, J. C. (2006). *A Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos de da Mecânica Quântica Segundo a Interpretação de Copenhagen e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*. Tesis Doctoral.
- Pérez, R. (s.f.). *La teoría de la Relatividad, la Mecánica Cuántica, La eternidad y otras Temáticas*

- ticas... Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Sanmarti, N. (2002). Necesidades de formación del profesorado en función de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. *Pensamiento Educativo* Vol. 30, pp.35-60.
- Simas Alvetti, M. A. (1999). Ensino de física moderna e contemporânea e a revista ciência hoje. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Vicario, J., & Venier, F. (2010). La enseñanza de la física moderna, en debate en Latino America. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería / Año 11 / Nº 20 / Julio / 2010*.
- Worral. (1976). Thomas young and the refutation of newtonian optics: a case-study in the interaction of philosophy of science and the history of science. Cambridge: university press.
- Young. (1802). On the theory of light and colours, a Bakerian lecture.

# Los materiales biodegradables, una alternativa a la contaminación de los polímeros sintéticos

Biodegradable materials, an alternative to the contamination of synthetic polymers

*Pedro Rodríguez Sandoval 1  
María Isabel Arévalo2*

*DOI: 10.29151/reit.n1a3*

1. Email: [prodiguez@misena.edu.co](mailto:prodiguez@misena.edu.co), Grupo de investigación Gimes, SENA- Centro de Materiales y Ensayos; Grupo Investigación NIEIT, Unimonstrate, Bogotá, Colombia

2. Email: [miarevalo0@misena.edu.co](mailto:miarevalo0@misena.edu.co), Grupo de investigación Gimes, SENA- Centro de Materiales, Bogotá, Colombia



## Resumen

En la actualidad se presenta un gran problema por el crecimiento exponencial de los desechos, causado principalmente por la acumulación de plásticos fabricados por la industria y empleados por la sociedad en una amplia línea de artículos para cubrir las necesidades en diferentes áreas, los cuales en su mayoría son de un solo uso, esto los convierte en grandes generadores de contaminación ambiental por su baja degradabilidad y el impacto negativo que estos ocasionan en las fuentes hídricas.

Esta es una de las razones por las que en los últimos años las industrias se han enfocado en la obtención de materiales que resuelvan estos problemas, y es precisamente esto lo que se aborda en el presente proyecto, donde se realizó la caracterización de un material compuesto formado por una mezcla de almidón de papa y polietileno, bajo parámetros establecidos, el cual demostró tener buenas propiedades térmicas haciéndolo apto para la fabricación de artículos industriales. Se evaluó la velocidad de degradación del material durante aproximadamente 6 meses en un ambiente con alta carga de microorganismos; gracias a la hidrólisis, la presencia de humedad en el suelo debilita los enlaces entre las moléculas del material, facilitando que los microorganismos puedan utilizarlo como alimento, generando CO<sub>2</sub>, agua y biomasa como productos de desecho. Para corroborar la biodegradabilidad del material se tuvieron en cuenta los métodos descritos en las normas ASTM D-6400 y D-5988, en un ambiente que se asemeja a un vertedero de basuras.

Palabras claves: biodegradabilidad; bioplásticos; envases; empaques; proceso inyección.

## Abstract

Currently there is a great problem due to the exponential growth of waste, caused mainly by the accumulation of plastics manufactured by the industry and used by society in a wide line of articles to cover the needs in different areas, which in their Most are single-use, this makes them great generators of environmental pollution due to their low degradability and the negative impact they cause on water sources, this is one of the reasons why in recent years industries have focused on in obtaining materials that solve these problems, and this is precisely what is addressed in this project, where the characterization of a composite material formed by a mixture of potato starch and polyethylene was carried out, under established parameters, which demonstrated have good thermal properties making it suitable for the manufacture of industrial items. The degradation rate of the material was evaluated for approximately 6 months in an environment with a high load of microorganisms; Thanks to hydrolysis, the presence of moisture in the soil weakens the bonds between the molecules of the material, making it easier for microorganisms to use it as food, generating CO<sub>2</sub>, water and biomass as waste products. To corroborate the biodegradability of the material, the methods described in ASTM D-6400 and D-5988 standards were taken into account, in an environment that resembles a garbage dump.

Keywords: Biodegradability; bioplastics; containers; packaging; injection process.

## **Introducción**

Los polímeros sintéticos han sido un valioso aporte al desarrollo industrial y tecnológico del mundo, convirtiéndose en acompañantes habituales de nuestra vida, sin embargo hoy son considerados un problema ambiental por la gran producción de artículos que se convierten en desechos, esto se evidencia en los informes estadísticos de producción en Estados Unidos, Europa occidental y Japón en donde se reportan cifras de 101, 8 millones de toneladas de la cuales 36,4 millones de toneladas están en rellenos sanitarios (2019).

En Colombia el uso de los materiales poliméricos de tipo sintético en los procesos de inyección, soplado, extrusión, termo formado y roto moldeo han incrementado su producción anual, generando que sus ventas se incrementen al compararlos con años anteriores según estudios de Acoplásticos, asociación a la que pertenecen la mayor parte de empresas de este sector. Esta asociación registra que al año se procesan 1.300.000 toneladas de resinas plásticas por un valor de 4000 millones de dólares al año. Así mismo, se evidencia que el consumo de plásticos por habitante es de 27 kilogramos, de los cuales el 56% corresponde a productos para empaque, envase y pitillos, el 6% pertenece a artículos de dotación y línea hogar, y el 22% elementos de construcción. De dichos elementos, solo se recicla el 17% ocasionando graves problemas ambientales por la gran cantidad de desechos, razón por la cual las autoridades nacionales y locales se han visto obligadas a tomar disposiciones de orden jurídico, como el decreto ley del año 2008, que regula el uso de las bolsas. La normatividad ambiental y la tendencia actual del mundo por incrementar la conciencia ambiental, está obligando a las industrias a buscar materiales más amigables con el medio ambiente para fabricar sus artículos.

En coherencia con lo anterior, las investigaciones de polímeros biodegradables con base de almidón se iniciaron hacia los años setenta, al respecto, se pueden relacionar los trabajos de investigación del Dr. Contreras Andújar de la Universidad Carlos III de Madrid (2006), los doctores Ortiz & Villalobos de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, México (2013), los doctores Viera R.H Y San Martín M.E del centro de investigación de ciencia aplicada y tecnología avanzada del instituto politécnico nacional México (2009), en donde como resultado se obtuvieron materiales biodegradables para procesos primarios de transformación como inyección y extrusión.

En este sentido, el objetivo de esta investigación fue la transformación y evaluación de las propiedades mecánicas y biodegradabilidad de un material compuesto biodegradable, resultante de mezclar almidón de papa con polietileno de baja densidad, para los procesos industriales de inyección y extrusión.

## **1. Metodología**

### **1.1 Preparación y alistamiento de materia prima**

Para este trabajo de investigación, se utilizó como materia prima el polietileno de baja densidad marca: DOW referencia 9931 para el proceso de extrusión y para el proceso de inyección, polietileno de alta densidad Marca E14412020 KANG Y C DOW referencia 9931, almidón de papa modificado referencia: ALMI 4 procesado por ALMICOR Ltda., aditivos: y agua destilada. El alistamiento de la materia prima se inició con la mezcla del almidón industrial 70%, gliceraldehído al 5% y agua destilada el 25%.

## 1.2 Proceso de extrusión e inyección

En esta etapa del proyecto se utilizó de la máquina de extrusión de doble husillo marca: Thermo Scientific referencia: 05 PTW16, con la que se definieron los parámetros de transformación de filamentos para luego pasar a la maquina peletizadora, en donde se obtuvieron los pellets. Se realizaron 4 tratamientos con diferentes porcentajes de almidón (2016).

Posteriormente, se procede al mezclado de los pellets en un dosificador volumétrico para ser alimentado a la maquina inyectora de mono tornillo marca: Wittmann Smart 60 de 60 toneladas de fuerza de cierre y capacidad de inyección 150 gramos, se utilizó un molde de acero de inyección de dos cavidades estandarizado bajo la norma ASTM D 638 de la probeta tipo A corbatín.

## 1.3 Caracterización propiedades mecánicas

Para la caracterización de las propiedades mecánicas se realizó el ensayo de tensión que consiste en someter una probeta a una carga axial, con el fin de que se produzca la rotura de la probeta para determinar la resistencia y las propiedades mecánicas del material, este proceso se desarrolló en la maquina universal marca BESMAK BMT-E con celda de cinco toneladas.

## 1.4 Ensayo de biodegradabilidad

El procedimiento para analizar la degradabilidad del material siguió la guía estándar para evaluar la compostabilidad en el medio ambiente para plásticos degradables, que se muestra en la norma ASTM D-6002. Para ello, se preparó un compost, el cual contenía microorganismos que son favorables para la degradación satisfactoria del material. La preparación del suelo consistía en una

mezcla de tierra común y compost, se depositan las probetas protegiéndolas de la luz del sol, posteriormente se monitoreó la evolución de estas probetas cada 15 días, para finalmente cada mes sacarlas y realizar ensayos pertinentes de acuerdo con la norma ASTM D-5988, en la cual se rectifica cualitativamente si el proceso de degradación se está llevando a cabo de manera satisfactoria, con el propósito de determinar el grado degradabilidad del material y el tiempo necesario al igual que condiciones ambientales que favorecen a que la descomposición avance más rápido.

## 2 Resultados y Discusiones

### 2.1 Procesos de extrusión e inyección

En los procesos de transformación con este material compuesto biodegradable se realizaron la programación de la variables según los tratamientos establecidos en el diseño experimental, como los valores de temperaturas, presiones, velocidades, porcentajes de almidón y se tuvieron en cuenta los resultados de las investigación realizados por Ortiz y Villalobos (2013); Rodríguez, Camargo y Villagrán (2016); Muñoz, Gómez y Rodríguez (2015) y Rodríguez y Camargo (2016) donde se trabajó con películas, filamentos e inyección de piezas con polietilenos y almidones de carga.

Para el proceso de extrusión se obtuvieron filamentos de 4 mm de diámetro, los cuales se llevaron a la maquina peletizadora para obtener pellets de 4 mm de diámetro por 4 mm de longitud. Por inyección se obtuvieron como producto probetas tipo corbatín con los diferentes tipos de mezclas. Ver figura 1.

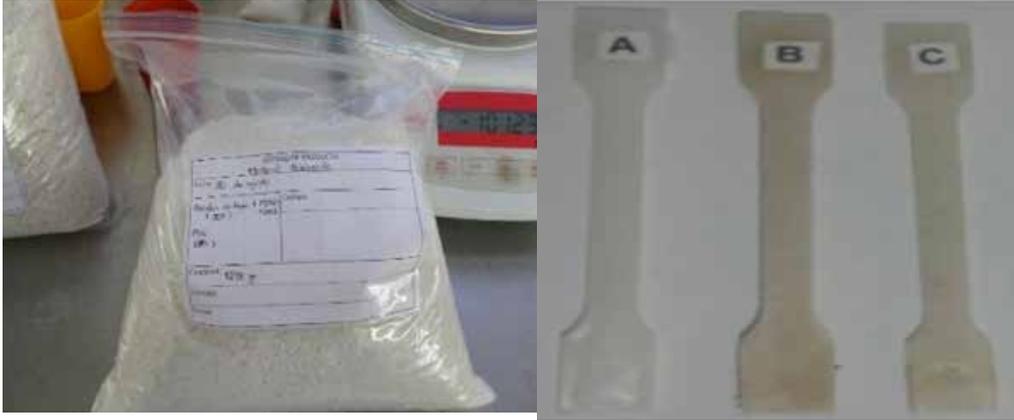


Figura 1: Productos finales pellets y probetas tipo corbatín. Fuente: Autor

## 2.2 Caracterización propiedades mecánicas

### 2.2. 1 Ensayos de tensión

Luego de llevar a cabo el proceso de inyección donde se tomaron cinco muestras diferentes de acuerdo con las concentraciones de almidón de papa industrial, PEBD, los resultados obtenidos en la investigación son:

Se pudo observar que con el PEBD al aumentar el porcentaje de almidón su elongación disminuía, ya que por efecto genera cambios en su estructura química, como se ilustra en la Figura 2.

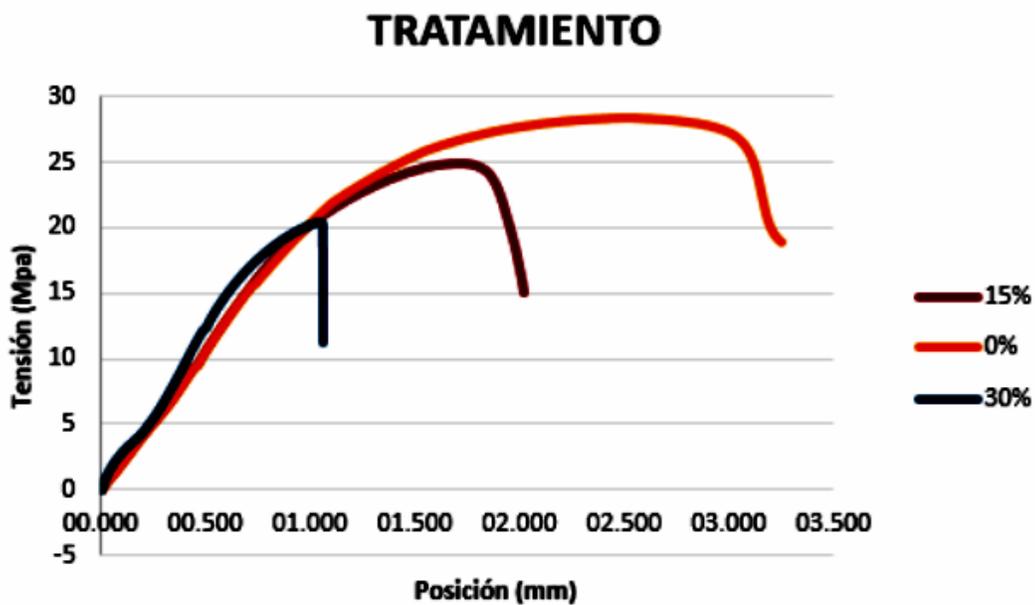


Figura 2: Curva esfuerzo – deformación Fuente: Autor

### 2.3 Ensayos de biodegradabilidad

Los ensayos de biodegradabilidad se desarrollaron de acuerdo con la norma ASTM D-5988 por medio de la determinación del CO<sub>2</sub> el cual es producido durante la degradación causada por los microorganismos al consumir el bioplástico, mostrados en la figura 3 se estableció que el biopolímero es degradable por medios biológicos encontrados en el compost. Además, se evidencia que a medida que se aumenta el contenido de almidón en la matriz de polietileno de baja densidad, la producción de CO<sub>2</sub> es mayor; mientras que la producción de CO<sub>2</sub> es muy baja con contenidos bajos de almidón, indicando que la biodegradación de un plástico totalmente sintético no es viable.

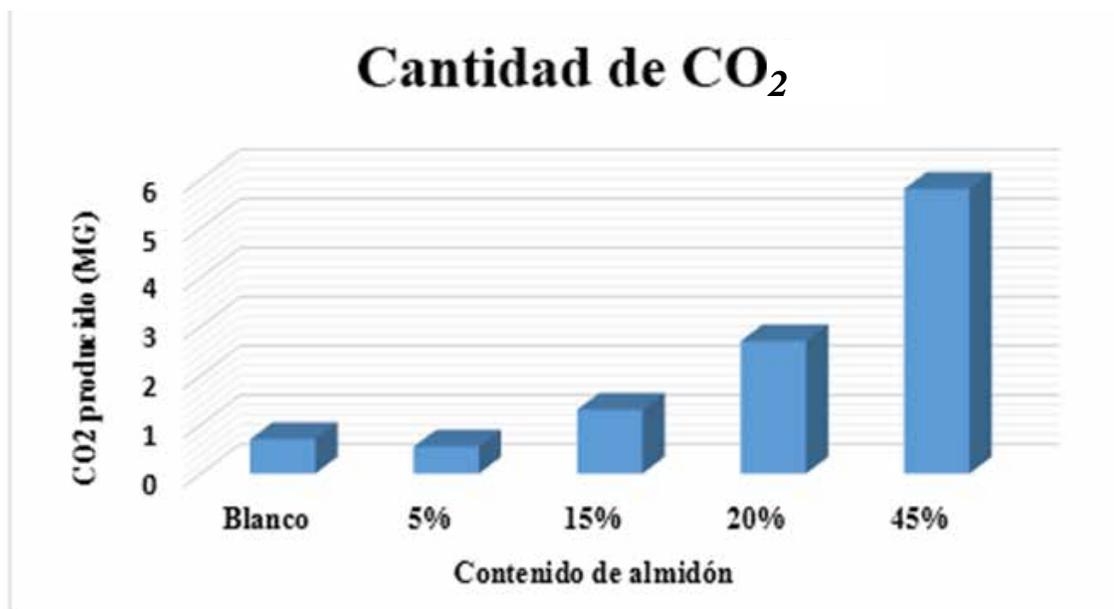


Figura 3: Producción de CO<sub>2</sub> Fuente: Autor

### Conclusiones

La investigación da como resultados un nuevo material compuesto biodegradable, que se puede transformar por los procesos de extrusión e inyección con parámetros ideales para la producción en serie de productos plásticos, siendo una alternativa para reemplazar los materiales sintéticos convencionales.

En la caracterización mecánica del material biodegradable por el ensayo de tensión, se observó que en el PEBD a mayor concentración de almidón sus propiedades mecánicas disminuyen.

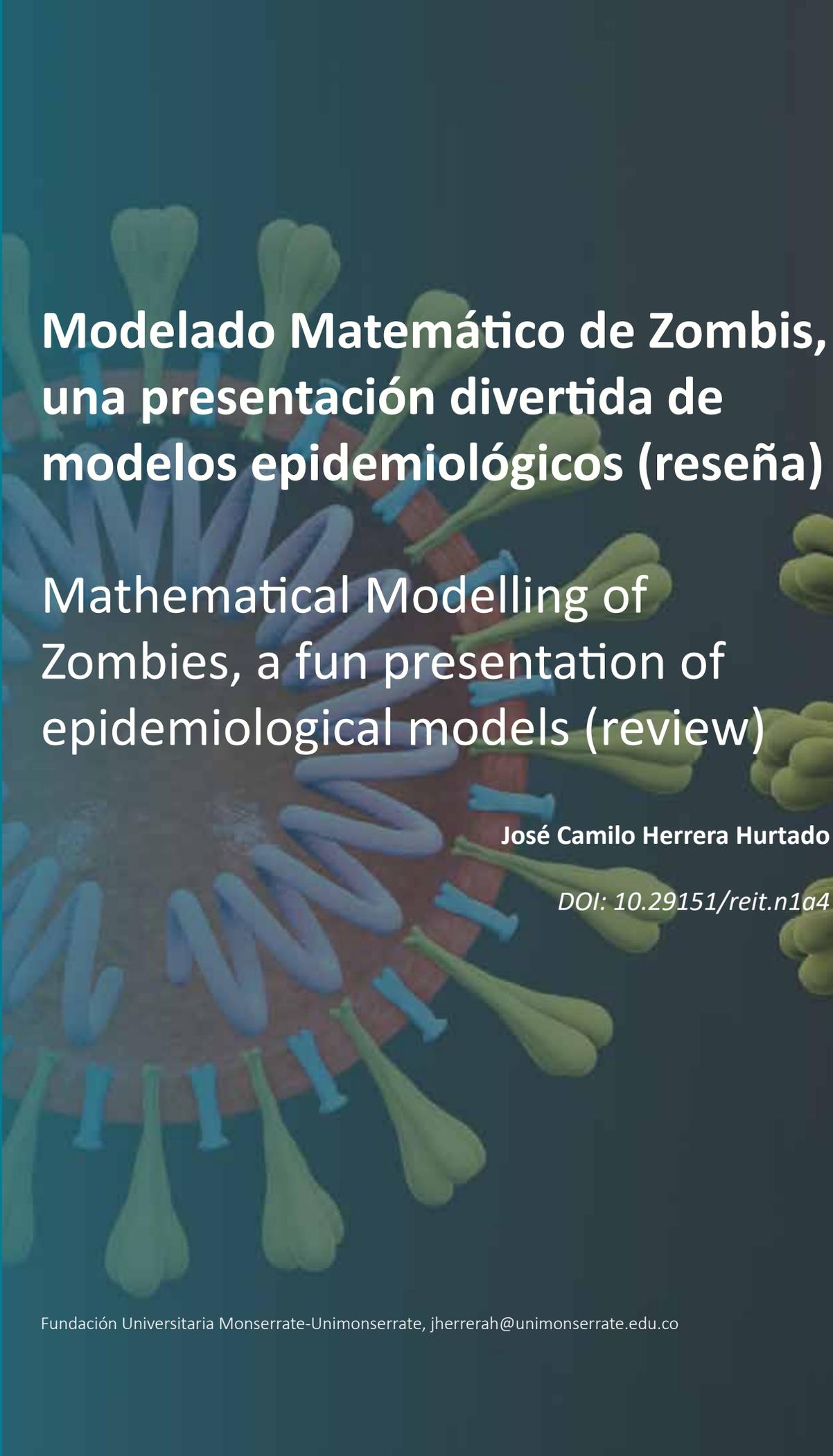
Por su parte, en los ensayos de biodegradabilidad según la norma ASTM D-558 se comprobó que la producción de dióxido de carbono por los microorganismos presentes en el compostaje y analizado se incrementó, demostrando que el almidón de papa está siendo utilizado para llevar a cabo sus rutas metabólicas y respiratorias. Lo que comprueba la degradación del biodegradable.

De esta manera, y como resultado de los estudios realizados, es preciso afirmar que los materiales biodegradables con almidón de papa puede ser una alternativa para sustituir los polímeros sintéticos, contribuyendo a mejorar los problemas am-

bientales existentes.

## Referencias

- Rodríguez L, Bello L, Yee H, González R (2013) Propiedades mecánicas y de barrera de películas elaboradas con harina de arroz y plátano reforzadas con nano partículas: Estudio con superficie de respuesta. *Rev. Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 12, No. 1.
- Ortiz M., Villalobos M. (2013) Desarrollo de una película plástica a partir de almidón extraído de papa residual. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. México.
- Rodríguez P., Camargo S., Villagrán I. (2016). Transformación y caracterización de un bioplástico por los procesos de extrusión e inyección. *Revista Informador Técnico*. Vol. 80, No. 2.
- Villada H., Acosta H., Velasco R. (2006) Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables.
- Muñoz E., Gómez E., Rodríguez P. (2015). Obtención y caracterización de un biodegradable a partir de almidón de papa y polietileno de baja por inyección. *Revista Informador Técnico*. ISSN: 2256-5035. Vol.79.
- Rodríguez P., Camargo S. (2017). Caracterización de las propiedades mecánicas de un material biodegradable a partir de los procesos de extrusión y peletizado. *Informador Técnico*. ISSN: 2256-5035. Vol. 81, No.2
- Rodríguez P., Camargo S., Cruz I. (2017), Desenvolvimento do processo de injeção com material biodegradável a partir da mistura de polietileno de baixa densidade e fécula de batata. *Congresso ibero-americano de Engenharia Mecânica*. Lisboa, Portugal ISSN: 978-989-95683.
- Arévalo K. (1996). Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradación a nivel de laboratorio y campo. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Vieyra Ruiz, Horacio. (2009). Elaboración de polímeros biodegradables polietileno- almidón y estudio de biodegradabilidad (Doctoral dissertation). Instituto Politécnico Nacional-México.

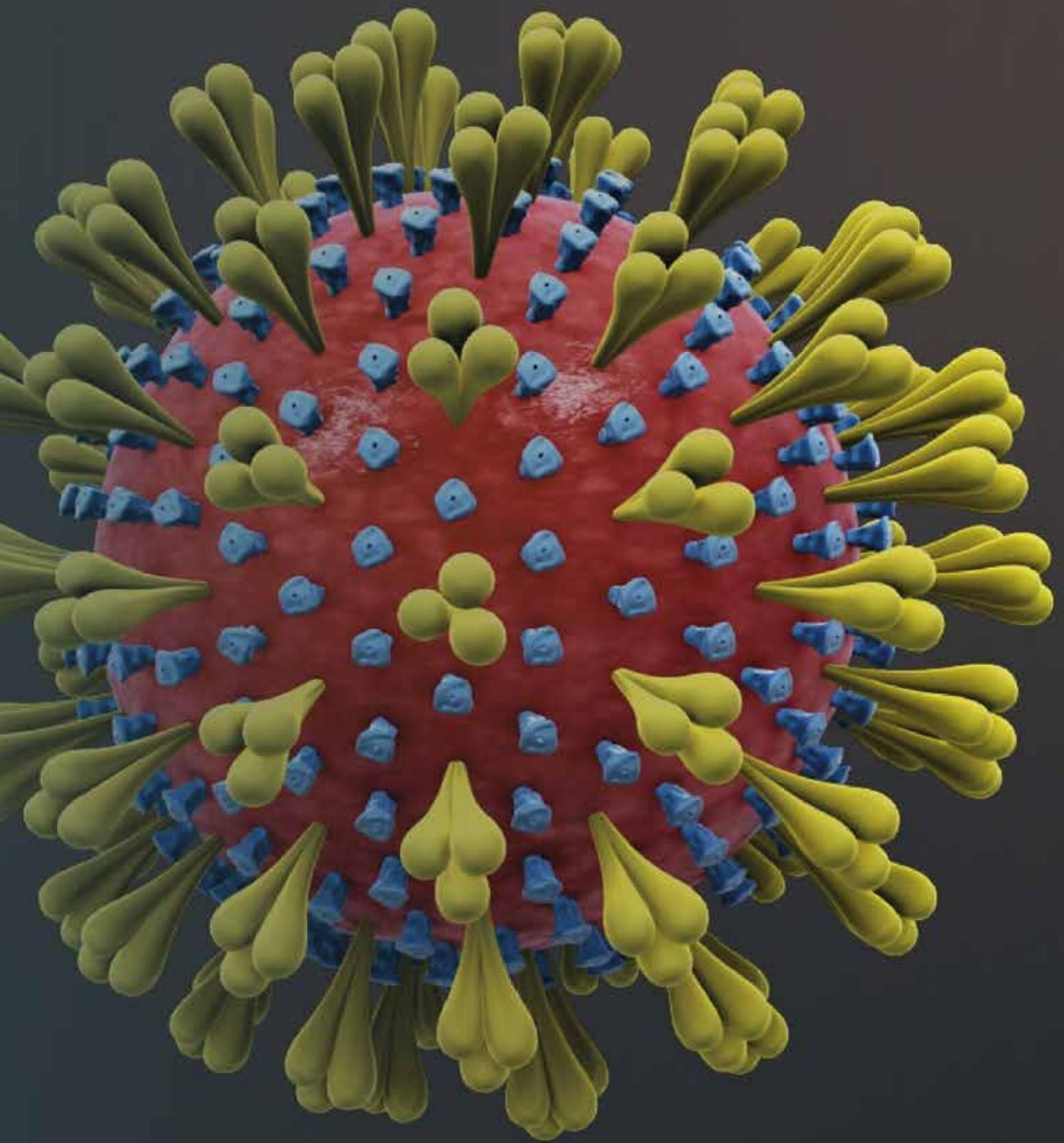


# Modelado Matemático de Zombis, una presentación divertida de modelos epidemiológicos (reseña)

## Mathematical Modelling of Zombies, a fun presentation of epidemiological models (review)

José Camilo Herrera Hurtado

DOI: [10.29151/reit.n1a4](https://doi.org/10.29151/reit.n1a4)



## Resumen

Se presenta el libro editado por Robert Smith en 2014, llamado “Mathematical Modelling of Zombies”, el cual realiza un análisis epidemiológico comparando el efecto de zombis y vampiros como agentes propagadores de enfermedad. Con base en ese caso hipotético, presenta una introducción a la inferencia estadística, al modelamiento basado en agente, enjambres de organismos biológicos, técnicas de difusión, modelos lineales evolutivos, toma de decisiones por lógica difusa, métodos de regresión estadística, y redes sociales; entre otros modelos matemáticos.

Para esta reseña nos enfocaremos en el capítulo “The Undead: A Plague on Humanity or a Powerful New Tool for Epidemiological Research” escrito por Jane M. Heffernan y Derek J. Wilson. Este capítulo trata con dos situaciones diferentes: enfermedades epidémicas y enfermedades endémicas, cuya diferencia consiste en que la primera se refiere a una condición ocasional, mientras que la otra consiste en una condición permanente con la que toca convivir. Se tratará con el modelo de propagación de enfermedades SIR, cuyas ecuaciones diferenciales se resolverán con ayuda del programa libre GNU Octave.

Palabras clave: Ecuaciones diferenciales; SIR; análisis epidemiológico; GNU Octave.

## **Abstract**

The book edited by Robert Smith in 2014, called “Mathematical Modeling of Zombies”, is presented, which performs an epidemiological analysis comparing the effect of zombies and vampires as disease spreading agents. Based on that hypothetical case; presents an introduction to statistical inference, agent-based modeling, swarms of biological organisms, diffusion techniques, evolutionary linear models, fuzzy logic decision-making, statistical regression methods, and social media; among other mathematical models.

For this review we will focus on the chapter “The Undead: A Plague on Humanity or a Powerful New Tool for Epidemiological Research” written by Jane M. Heffernan and Derek J. Wilson. This chapter deals with two different situations: epidemic diseases and endemic diseases, the difference being that the first refers to an occasional condition, while the other consists of a permanent condition with which it is time to live. It will be treated with the SIR disease propagation model, whose differential equations will be solved with the help of the free software GNU Octave.

Keywords: Differential equations; SIR; epidemiological analysis; GNU Octave.

## Introducción

El libro revisado “Mathematical Modelling of Zombies” es un libro divulgativo, que presenta modelos matemáticos aplicados a la epidemiología por medio de analogías con las películas y novelas de terror de la ficción. Consta de 523 páginas repartidas en 17 capítulos, en el capítulo de introducción el editor se pregunta ¿Qué pueden enseñarnos los zombis acerca de matemáticas? Donde además de mencionar los diferentes modelos matemáticos que tienen aplicación en el modelamiento de enfermedades, nos comenta que su motivación para escribir el libro fue la gran recepción de un artículo que publicó en el 2009 con este mismo título. En cuanto al resto de capítulos y sus respectivos autores son:

- La propagación viral de una noticia zombi (Robert Smith?). Donde se utiliza el modelo SIR y las estadísticas de Google Trends para analizar la difusión de una noticia a través de los medios de comunicación.
- Los no muertos: ¿una plaga para la humanidad o una poderosa herramienta nueva para investigación epidemiológica? (Jane M. Heffernan y Derek J. Wilson). Realizan una analogía entre los zombis y vampiros respecto a enfermedades epidémicas y endémicas.
- ¡Cuando los zombis atacan! Final alternativo (Phil Munz). Presenta una variación del modelo depredador- presa de Lotka-Volterra para incluir tendencias cíclicas y fluctuaciones en las diversas poblaciones,
- ¡Cuando los humanos contraatacan! Estrategias adaptativas para los ataques zombi (Bard Ermentrout y Kyle Ermentrout). Describe un modelo biestable y con comportamiento oscilatorio que ocurre al suponer una ventaja de los humanos cuando la población zombi es baja (y viceversa), lo cual cambia cuando los humanos se vuelven complacientes al enfrentar pocos ataques.
- Aumentar la supervivencia en una epi-

demia zombi (Ben Tippet). Construye un modelo epidemiológico en el cual analiza cual es la mejor estrategia a seguir ¿Es mejor correr y esconderse, enfrentamiento directo o seguir con la vida cotidiana?

- ¿Cuánto tiempo podemos sobrevivir? (Thomas E. Woolley, Ruth E. Baker, Eamonn A. Gaffney y Philip K. Maini). Usa un modelo de difusión con una población distribuida aleatoriamente en una región unidimensional para determinar los tiempos de interacción que producen una onda infecciosa.
- Demografía de zombis en EEUU (Daniel Zelterman). Analiza variables demográficas y las relaciona con las búsquedas en Google de un tema determinado (en este caso zombis).
- ¿No es seguro salir aun? Inferencia estadística en un modelo de brote zombi (Ben Calderhead, Mark Girolami y Desmond J. Higham). Presenta conceptos básicos de las técnicas estadísticas para calcular parámetros que no se pueden medir directamente.
- El zombi social: Modelando los brotes de no muertos en redes sociales (Laurent Hébert-Dufresne, Vincent Marceau, Pierre-André Noël, Antoine Allard y Louis J. Dubé). Considera las redes sociales y la adaptabilidad de las interacciones sociales.
- Sistema de alerta de infección zombi basado en un modelo de toma de decisiones de lógica difusa (Micael S. Couceiro, Carlos M. Figueiredo, J. Miguel A. Luz y Michael J. Delorme). Busca predecir ataques inminentes.
- ¿Hay un zombi maniaco cerca de usted? Mejor asuma que si (Nick Beeton, Alex Hoare y Brody Walker). Utiliza un modelo basado en agentes para describir la dinámica de la transmisión.
- Zombis en la ciudad: un modelo en el lenguaje de programación Netlogo (Jennifer Badham y Judy-anne Osborn). Considera los tres posibles resultados: zombis ganan, humanos ganan y punto muerto, mostran-

do como los modelos basados en agentes complementan los enfoques analíticos.

- Una representación lineal evolutiva para simular las políticas del gobierno en los brotes zombi (Daniel Ashlock, Joseph Alexander Brown y Clinton Innes). Analiza los efectos de las acciones del gobierno, la población y la efectividad de una vacuna.
- Dinámica de posesión en la leyenda del buscador (Gergely Röst). Presenta un modelo de posesión en la que el muerto debe atacar un vivo cada día para no desaparecer y evalúa dos estrategias de respuesta.
- El enjambre zombi: epidemias en presencia de atracción y repulsión social (Evelyn Sander y Chad M. Topaz). Incorpora interacciones sociales que se presentan en organismos biológicos que se agrupan en enjambres.

El editor del libro Robert Smith? (el signo de interrogación es parte del nombre), es un matemático australiano, con doble nacionalidad incluyendo la canadiense que tiene un fuerte interés en temas biológicos y sociales como: Drogas antirretrovirales, vacunas, educación, medios de comunicación, enfermedades tropicales desatendidas, plantas, microbicidas, fermentación autociclo, fundamentos de la epidemiología teórica. Trabaja en el departamento de matemáticas de la Universidad de Ottawa y ha publicado libros de ficción relacionados con Doctor Who y un libro de texto llamado *Modelling Disease Ecology with Mathematics*, el cual incluye una introducción amigable a las ecuaciones diferenciales impulsivas y un estudio de caso actualizado sobre zombis, junto con modelado en Matlab.

A pesar de la gran cantidad de enfermedades y condiciones particulares de las sociedades que las sufren, los modelos matemáticos utilizados resultan ser bastante generales y se aplican para diversos tipos de estas, como por ejemplo el VIH y la malaria. El primer paso para desarrollar un modelo consiste en comprender la biología, y lu-

ego llegar a una conclusión por medio del análisis matemático.

Los zombis son muy cercanos a varias técnicas matemáticas, ellos forman enjambres, se mueven pseudoaleatoriamente; al otro lado de la balanza para combatirlos se requiere estimar parámetros, tomar decisiones con base a información imperfecta, y desarrollar políticas que evolucionen conforme cambie la situación (sistemas dinámicos). La formación de enjambres puede modelarse por ecuaciones integro-diferenciales, que ayudan a comprender como las personas o los zombis se agrupan y que efectos ocurren sobre la propagación de la enfermedad. El movimiento pseudoaleatorio (de un zombi tambaleante o de un virus aéreo) puede describirse por difusión, lo que requiere ecuaciones diferenciales parciales.

Zombis con necesidades específicas (comer cerebros), utilizan modelamiento basado en individuos, con el cual se puede simular numéricamente los efectos de muchos individuos en un ambiente urbano. Las interacciones entre zombis y personas se describen por medio de redes, que también dan cuenta de la propagación de una enfermedad en un barrio o por viajes internacionales. Las técnicas empleadas para modelar el efecto de la enfermedad sobre la población son de diversos tipos: pueden ser analíticas, numéricas o una combinación de ambas; y nos permiten enfrentar lo desconocido. Una pandemia puede ser terrible, pero conociendo como las vacunas detienen su avance y la estructura de la población. Las matemáticas nos ayudan a determinar cuáles esfuerzos de control serán más útiles y cuando aplicarlos, salvando vidas y generando un ahorro económico valioso en tiempos de emergencia.

El segundo capítulo del libro tiene como autores a Jane M. Heffernan y Derek J. Wilson, y trata como tema central el modelo SIR. Jane M. Heffernan es una matemática canadiense, profesora del departamento de matemáticas y estadística de la Universidad de York, directora del laboratorio

de modelamiento de infecciones e inmunidad; y Derek J. Wilson es un bioquímico, profesor del departamento de química de la Universidad de York, director de un laboratorio de espectroscopia de masa que investiga estructura, función y dinámica de las proteínas.

### SIR – modelo para epidemias

En el surgimiento de una enfermedad, cuando no está distribuida en toda la población, esta se puede separar en tres grupos:

- Susceptible (S) son personas sanas que pueden contraer la enfermedad. Al comienzo de un brote, la gran mayoría de la población estará en esta clase.
- Infectados (I) son miembros de la población que han contraído la enfermedad y que pueden transmitirla. En el pico de una epidemia, una fracción significativa de la población estará en esta clase.
- Retirados (R) son individuos que han tenido la enfermedad y sobrevivieron. Para la mayoría de las enfermedades epidémicas, como la peste bubónica, el cólera y los zombis, la clase retirada es una pequeña proporción de la población.

El movimiento entre las clases se rige por las siguientes tasas:

1. La infección mueve a los individuos entre las clases 'Susceptible' e 'Infectado'. La transmisión ocurre cuando una S y una I se encuentran, con una tasa  $\beta$ .
2. La recuperación mueve a los individuos entre las clases 'Infectados' y 'Retirados'. Esto ocurre con la tasa  $\sigma$ .
3. La pérdida de inmunidad mueve a los individuos de la clase 'Retirado' a 'Susceptible'. Esto ocurre con la tasa  $\omega$ .
4. Nacimiento / Muerte. Cada clase tiene sus propias tasas de natalidad y mortalidad, lo que resulta en la adición o eliminación

de personas de cualquier clase. La muerte ocurre con tasas  $d_S$ ,  $d_I$ ,  $d_R$  y  $\mu$  (muerte debida específicamente a la enfermedad); los nacimientos llegan con tasa  $\lambda$ . Por simplicidad, se supone que todos nacen susceptibles.

Resumiendo, el modelo esta dado por el sistema de ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dS}{dt} = \lambda - \beta SI - d_S S + \omega R$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - d_I I - \mu I - \sigma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \sigma I - d_R R - \omega R$$

Estas ecuaciones, pueden resolverse fácilmente utilizando GNU Octave, por medio del siguiente código:

```
function xdot = sir_eqn(x,t)
% Parameter values
beta=0.1;
mu=0.05;
sigma=0.03;
omega=0.0005;
dS=0;
dR=0;
dI=0;
lambda=0;
% Define variables
s = x(1);
y = x(2);
r = x(3);
% Define ODEs
```

```
ds=lambda-beta*s*y-dS*s+omega*r;  
dy=beta*s*y-mu*y-dI*y-sigma*y;  
dr=sigma*y-dR*r-omega*r;  
% Return gradients  
xdot = [ds,dy,dr];  
endfunction  
  
t = linspace(0, 400, 2001)+.1;  
x0=[0.99,0.01,0];  
x = lsode("sir_eqn",x0, t);  
out=[transpose(t),x];  
  
plot(t,x(:,1),"-r",t,x(:,2),"-g",t,x(:,3),"-b")  
xlim([0 400])  
xlabel("Time","fontweight","bold")  
ylabel("Number","fontweight","bold")  
h = legend("S","I","R");  
legend(h,"show")
```

## Conclusiones

Este libro es una buena recomendación para aficionados a las películas o novelas de terror que quieran comparar lo que se presenta en ellas con modelos científicos relacionados, también recomendado para los matemáticos, médicos e ingenieros que deseen motivarse para estudiar los modelos epidemiológicos a partir de una lectura entretenida. Sin embargo, para este segundo grupo, este libro sería solo una introducción que podría ser complementada con el libro: “Modeling Disease Ecology with Mathematics” del mismo autor, Robert Smith?

## Referencias

- Smith, R. (2014). *Mathematical Modelling of Zombies*. Canada: University of Ottawa Press.
- Smith R. (2020). Homepage of Robert Smith?. Recuperado de: <https://mysite.science.utoronto.ca/rsmith43/>
- Wikipedia. (2020). Jane Heffernan Recuperado de: [https://en.wikipedia.org/wiki/Jane\\_Heffernan](https://en.wikipedia.org/wiki/Jane_Heffernan)
- Universidad de York (2020). Jane Heffernan, Recuperado de: <http://immune.math.yorku.ca/jmheffer/biblio/tg/U?page=1&sort=type&order=desc>
- Derek J. W. The boss man. <https://derekwilsonlab.ca/the-boss-man/>
- Epirecipes (2020). SIR model using Octave and LSODE. Recuperado de: <http://epirecip.es/epicookbook/chapters/sir/octave>
- Linge S., Langtangen H. (2016). Spreading of diseases. Recuperado de: [http://hplgit.github.io/Programming-for-Computations/pub/p4c/\\_p4c-bootstrap-Matlab020.html](http://hplgit.github.io/Programming-for-Computations/pub/p4c/_p4c-bootstrap-Matlab020.html)
- GNU Octave. Recuperado de: <https://www.gnu.org/software/octave/download.html>

# Nikola Tesla, un genio entre luces y desfalcos (reseña descriptiva)

Nikola Tesla, a genius among lights and embezzlements (descriptive review)

*Claudia P. Mejía V.*

*DOI: 10.29151/reit.n1a5*



## Resumen

Nikola Tesla fue un gran científico e inventor que vivió entre mediados del siglo XIX y mediados del siglo XX. No solo se caracterizó por ser un personaje polémico, sino que también fue un gran visionario que cambió la forma en que aún hoy, nos comunicamos e interactuamos con el mundo. Entre sus contribuciones más importantes (inventos, adaptaciones y/o perfeccionamiento de equipos) están, el motor de corriente alterna, el manejo teledirigido de dispositivos, el transformador, la propulsión eléctrica, el generador de rayos x, las bombillas fluorescentes, las luces de neón y de arco voltaico y los principios de la tomografía usada hoy en día para detección del cáncer. Si Nikola Tesla hubiese nacido en nuestro tiempo, muy seguramente habría tenido diagnóstico de esquizofrenia o de trastorno obsesivo compulsivo debido a su comportamiento excéntrico y a las frecuentes visiones vívidas que manifestaba tener.

Palabras clave: Nikola Tesla; motor de corriente alterna; radar.

## Abstract

Nikola Tesla was a great scientist and inventor who lived between the mid-19th and mid-20th centuries. He was characterized by being a controversial character and a great visionary who changed the way that even today, we communicate and interact with the world. Among his most important contributions (inventions, adaptations and /or improvement of equipment) are, the alternating current motor, the remote control of devices, the transformer, the electric propulsion, the x-ray generator, the fluorescent bulbs, the radar, the lights of neon and arc flash and the principles of tomography used today for cancer detection. If Nikola Tesla would live in our time, he would most likely have been diagnosed with schizophrenia or obsessive-compulsive disorder due to his eccentric behavior and the frequent intense visions of that he manifested as having.

Keywords: Nikola Tesla; AC motor; radar.

## Introducción

En el libro *“Nikola Tesla el genio al que le robaron la luz,”* se hace un recorrido por todos los aspectos de la vida y obra del gran inventor, a quien le debemos muchos de los desarrollos tecnológicos que se ven en la actualidad. Este libro, impreso en el 2009, es la versión en español de *“Tesla Man out time”* escrito en 1981 por Margaret Cheney. La versión en español de este libro, está compuesta por 29 capítulos (reseñados en la tabla 1) y 396 páginas.

Tabla 1. Relación de capítulos del libro *“Nikola Tesla, El genio al que le robaron la luz”*

CAP.	NOMBRE	CAP.	NOMBRE
1	UN MODERNO PROMETEO	16	RIDICULIZADO, CONDENADO, VILIPENDIADO
2	EL JUGADOR	17	LA GRAN POLÉMICA DE LA RADIO
3	INMIGRANTES DE POSTÍN	18	DIFICULTADES Y MADUREZ
4	EN LA CORTE DEL SEÑOR EDISON	19	EL ASUNTO DEL NOBEL
5	EMPIEZA LA GUERRA DE LAS CORRIENTES	20	EL HORNO VOLADOR
6	LA ORDEN DE LA ESPADA FLAMÍGERA	21	RADAR
7	RADIO	22	EL INVITADO DE HONOR
8	ALTA SOCIEDAD	23	PALOMAS
9	HORAS ALTAS, HORAS BAJAS	24	TRÁNSITOS
10	UN ERROR DE CÁLCULO	25	FIESTAS DE CUMPLEAÑOS
11	RUMBO A MARTE	26	CORCHOS A LA DERIVA
12	AUTÓMATAS	27	COMUNIÓN CÓSMICA
13	EL HACEDOR DE RAYOS	28	MUERTE Y TRANSFIGURACIÓN
14	APAGÓN EN COLORADO SPRINGS	29	LOS PAPELES PERDIDOS
15	ENSALZADO Y HUMILLADO		

Margaret Cheney es una escritora norteamericana nacida en 1921 y destacada biógrafa que también escribió junto con Robert Uth *“Tesla: Master of Lightning”* que va en la misma temática de este inventor y científico.

Volviendo al libro de nuestro interés, en los dos primeros capítulos se abordan aspectos de su infancia, juventud y asuntos de índole familiar. Los capítulos tres al doce, tratan temas relacionados con su vida laboral y los engaños que tuvo que encarar debido a su tal vez idealizada y un poco

ingenua visión del mundo. En esta parte también se habla de la desleal competencia ejercida por parte de su antiguo jefe Edison con el fin de desacreditar su modelo de corriente alterna. Del capítulo 13 al 16, se habla de algunos de sus proyectos fallidos ya sea por falta de financiación o que por estar fuera de su tiempo no era posible su construcción. Del capítulo 17 al 29, con un Tesla más maduro y menos ingenuo (razón por la que empezó a patentar todas sus creaciones teniendo en cuenta los sinsabores vividos en experiencias previas), se habla de otros inventos y la polémica acerca de la invención de la radio con Marconi, ya que este último usó sin permiso patentes de Tesla para su construcción. Hacia el final de su vida, sus excentricidades fueron en aumento, al punto de desarrollar un amor por las palomas a las cuales alimentaba y cuidaba con un esmero que rayaba en lo enfermizo. Nikola Tesla murió de un infarto en Nueva York el 7 de enero de 1943 en la habitación del hotel en la que vivía. Murió arruinado, solo y olvidado por la mayoría.

Como se puede esbozar, el libro no se limita a hacer un recorrido biográfico del inventor en cuanto a lo profesional y/o científico, sino que también ahonda en aspectos cotidianos de su vida, sus excentricidades, sus concepciones del mundo y sus desfalcos.

### Abordaje del contenido del libro

Nikola Tesla nació en Croacia, a la media noche del 9 al 10 de julio de 1856. Su padre, sacerdote ortodoxo, vivía con su esposa e hijos (2 hombres y 3 mujeres incluyendo a Tesla que era el cuarto), en una casa al lado de la parroquia que atendía. Era una familia que, aunque no tenía lujos, no pasaba necesidades.

El contexto de la época en la región que habitaba Tesla no daba muchas opciones profesionales más que ser labriego, militar o clérigo. De hecho, la mayoría de familiares de Tesla, eran militares o clérigos, o en el caso de las mujeres, se habían

casado con alguno de ellos. Su padre Milutín Tesla, consideraba que el mejor futuro para sus hijos estaba en abrazar la vida eclesial. En cuanto a la madre de Tesla, era una mujer muy inteligente con una memoria prodigiosa que le permitía recitar repertorios completos de poesía, sin embargo, para la época, tales cualidades no se preciaban en una mujer. Crecer en un hogar lleno de citas bíblicas y poesía dio pie para que, en su juventud y muy de vez en cuando durante el resto de su vida, Nikola también escribiera versos, aunque nunca consintió en publicarlos. De todas maneras, de mayor animaba sus tertulias privadas recitando poemas de su país de origen (en inglés, francés, alemán o italiano).

Su carisma como inventor se manifestó desde muy niño cuando a los cinco años, construyó una rueda hidráulica propia, lisa y carente de paletas que giraba al paso del agua como las demás. También le gustaba desarmar y armar los relojes de su abuelo. Después recordaría lo poco que le había durado aquella afición: *"Siempre concluía con éxito la primera operación, pero no solía atinar en la segunda"*. La muerte de su hermano Daniel, siete años mayor que él y ocurrida cuando Tesla contaba con cinco años afectó profundamente su carácter, y le hizo sentir desde joven la necesidad de mitigar el dolor de sus padres. Según su propio testimonio, desde pequeño decidió someterse a una férrea disciplina para sobresalir en todo; trataba de ser más austero, más generoso y estudioso que sus compañeros, sacándoles ventaja en todos los campos, con el fin de no darle motivo de angustia a sus padres. Desde la muerte de su hermano la percepción de Tesla, es que todo lo que él hiciera quedaba empañado por el recuerdo del prometedor hermano fallecido. Sus propios logros según sus palabras *"sólo servían como pretexto para que mis padres lamentasen aún más su pérdida. De modo que, si bien nadie pensaba de mí que fuera tonto, no desarrollé una gran confianza en mí mismo durante la infancia..."*. Se cuenta también que, desde muy pequeño, sentía molestos fregonazos de luz que le cegaban y no

solo distorsionaban la realidad, sino que tampoco le permitían pensar con claridad. De igual manera desde su infancia mostró una imaginación rica y vivaz.

En su juventud, su vocación para la ingeniería se fue afianzando con fuerza y en los estudios destacaba en las matemáticas y los idiomas. Sin embargo, tuvo muchos problemas de salud que lo llevaron casi a la muerte. En uno de estos periodos de convalecencia, le pidió a su padre que le dispensara de aspirar a la vida clerical y le permitiera estudiar ingeniería, a lo cual él accedió. De esta forma, en 1875 se matriculó en la Escuela Politécnica Austríaca de Graz. Estudió becado por la sociedad de las autoridades militares de fronteras y no pasó ningún apuro económico hasta que dicha sociedad se disolvió. Su férrea disciplina lo motivaba a estudiar desde las tres de la mañana hasta las once de la noche con la intención de sacar adelante los cursos en la mitad de tiempo. Física, matemáticas y mecánica fueron las asignaturas a las que más se dedicó. Dado los altos costes educativos y al no contar con beca, a partir del segundo año comenzó a buscar dinero para complementar su sustento en las apuestas con juegos de azar, cartas y billar, convirtiéndose en ludópata. Al final, terminó abandonando los estudios. Sin embargo, a partir de ahí comenzó a pensar en la posibilidad de diseñar motores eléctricos más eficientes que condujeron en la creación del motor de corriente alterna. Con el tiempo, consiguió superar su adicción al juego, así como otros malos hábitos que le fueron apareciendo, -fumar y tomar café en exceso- usando su fuerza de voluntad que cultivó a través de su vida.

Luego de haber sido oyente en algunas universidades y estudiar con ahínco de manera autónoma llegando a ser considerado autodidacta por muchos, se vinculó al mercado laboral en 1881 gracias a la ayuda de un tío que le consiguió trabajo en Budapest. En esta época, con los sentidos acuciadamente desarrollados, y en medio de una fuerte crisis nerviosa que curó con ejercicio físico

y largas caminatas, Tesla logró diseñar el motor de corriente alterna. Un invento que al mundo le tomaría años darle su debida importancia.

En 1882, sin tiempo ni dinero para diseñar más inventos y con las ideas burbujeando en su mente, se concentró en su trabajo donde no en poco tiempo ascendió a la categoría de Ingeniero, adquiriendo experiencia y haciendo muchas mejoras en los equipos de la empresa en que trabajaba. Por recomendación laboral de familiares, luego de su estancia en Budapest se trasladó a la filial telefónica de Edison en París, donde tenía planeado vender los planos de su invento del motor y mostrar los enormes beneficios potenciales de la corriente alterna. Sin embargo, se llevó una profunda decepción al saber que Edison hacía oídos sordos a esta posibilidad. No obstante, habiéndose ganado el favor del director de la empresa en París, se dejó convencer por él de trasladarse a Estados Unidos.

Ya en New York y trabajando para Edison, se dio cuenta que Edison era un hombre mordaz y no tenía reparos éticos a la hora de ganar dinero. Solía pronunciar frases lapidarias como *"En el comercio y en la industria, todo el mundo roba, hasta yo mismo he robado, Pero, al contrario que los demás, yo sé cómo hacerlo"*, *"Un hombre siempre hace las cosas guiado por dos motivos: uno bueno, y otro, que es el verdadero"*. También gustaba de afirmar que reconocía la importancia de sus inventos por los dólares que lograba facturar, lo demás le importaba poco.

Edison no tardó en reconocer la valía de Tesla y su consagración al trabajo por las muchas mejoras que hizo a los equipos de su empresa. Sin embargo, por no pagarle la suma de 50.000 dólares, acordada por unas mejoras que desarrolló Tesla en los rudimentarios dínamos de Edison, Tesla terminó renunciando. Luego de salir de la empresa de Edison intentó crear su propia empresa, pero de nuevo las *"formas norteamericanas de hacer negocios"* lo dejarían en la ruina y buscando tra-

bajo como cualquier obrero. En esa época de su vida, apenas conseguía llegar al día siguiente en lo económico, a pesar de que su reputación como ingeniero iba en aumento.

Luego de una espectacular conferencia dictada el 16 de mayo de 1888, titulada **"Un nuevo sistema para motores y transformadores de corriente alterna"** consiguió que el empresario Westinghouse le contratase como asesor en su empresa para adaptar su sistema monofásico, a cambio de un salario de dos mil dólares mensuales. Aquellos ingresos extra le venían de perlas, pero le obligaban a trasladarse a Pittsburgh y dejar New York. Tesla y Westinghouse llegaron a un acuerdo para desarrollar el sistema de corriente alterna; cuando Edison se enteró, sintiendo amenazado su monopolio, comenzó a hacer propaganda desacreditando dicho sistema. Sin embargo, el tiempo hizo justicia con Tesla y le dio la razón, siendo el sistema de transmisión de corriente alterna empleado hoy en día. (Esta época es la que se conoce como de **la guerra de las corrientes**).

Con el paso del tiempo y debido al coste económico que había supuesto para Westinghouse invertir en la carrera tecnológica a favor de la corriente alterna teniendo la campaña de Edison en contra, éste le pidió a Tesla que renunciase a recibir las ganancias a las que tenía derecho por la generación de electricidad con este método. En agradecimiento por haberle dado la mano en momentos difíciles, Tesla aceptó. Realmente NO fue una buena decisión haber renunciado a algo que en el futuro le habría generado buenos dividendos para llevar una vida holgada. Aquí es desfalcado de nuevo económicamente (la primera fue cuando Edison no le pagó la suma prometida por el perfeccionamiento de sus equipos).

Otro gran sueño de Tesla era transmitir la energía eléctrica de forma aérea sin usar cables, aprovechando la conductividad de la ionósfera, y con el fin de distribuirla gratuitamente para beneficio de todos. Para financiar este proyecto, recurrió a

uno de los banqueros más poderosos de la época (J. P. Morgan) quien lo financió hasta cierto tope que resultó ser insuficiente dada las tasas de inflación de ese tiempo. La Wardenclyffe Tower-estructura principal del proyecto- quedó inconclusa, nunca llegó a funcionar del todo y finalmente fue derribada, terminando con Tesla endeudado.

Aún desanimado como estaba y sumido en la bancarrota, entre 1916 y 1920 corrigió y publicó los principios básicos de lo que, casi treinta años más tarde, se conocería como radar. Por esa época también comenzó su dedicación por las palomas que encontrase enfermas, a las que curaba de todo tipo de enfermedades, inclusive, pagando veterinario cuando no sabía la enfermedad que presentaban. En la década de los treinta comenzó a perder a quienes habrían sido sus aliados, su salud también se fue haciendo cada vez más endeble por los años y padeció algunos episodios de demencia.

Gracias a la fundación del Instituto Tesla en Belgrado, se recopiló información sobre sus primeros inventos con el consentimiento de Tesla. De esta manera, el Gobierno yugoslavo y algunos ciudadanos eslavos a título individual suscribieron un compromiso que le garantizaba a Tesla el cobro de un salario de siete mil doscientos dólares anuales. Gracias a sus compatriotas, **"el inventor más genial de todos los tiempos"** no se vio abandonado en los últimos años de su existencia.

## Conclusiones

En cuanto al libro, es una recopilación bastante completa y enriquecedora de la vida de Tesla sobre todo en su aspecto como ser humano.

En cuanto al contenido, muestra cómo es la preparación de un ingeniero y científico. Esta formación está fundamentada en el trabajo duro, gran capacidad de aprendizaje autónomo y una férrea disciplina si se busca obtener importantes avances en la ciencia o la ingeniería

independientemente del reconocimiento de sus contemporáneos.

Visualiza también que, en cuestión de negocios, no se puede ser confiado y se debe ser organizado con los gastos.

Se aprende también que muchos defectos se pueden corregir con fuerza de voluntad. El no corregirlos de manera rápida, conllevan a pérdida de tiempo, dinero y talento.

## Referencias

- Cheney, M. (2009). Nikola Tesla El genio al que le robaron la luz. Turner Noema. (Traducción).
- Cheney, M. (1981). Tesla man out time. E.E.U.U. Prentice Hall.
- Cheney, M., Uth R. (1999). Tesla: Master of Lightning. E.E.U.U. Barnes & Noble Book

---

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA MONSERRATE - UNIMONSERRATE**

Av. Calle 68 N° 62-11

Bogotá – Colombia