



## Reseña de una interpretación de discordia cuántica

---

Ávila Aoki, Manuel; Soberanes Martín, Fabián  
Reseña de una interpretación de discordia cuántica  
CIENCIA *ergo-sum*, vol. 26, núm. 2, julio-octubre 2019 | e57  
Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Ávila Aoki, M. y Soberanes Martín, F. (2019). Reseña de una interpretación de discordia cuántica. CIENCIA *ergo-sum*, 26(2). <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a11>

# Reseña de una interpretación de discordia cuántica

Overview of an interpretation of Quantum Discord

*Manuel Ávila Aoki*

*Universidad Autónoma del Estado de México, México*

manvlk@yahoo.com

Recepción: 11 de junio de 2018

Aprobación: 22 de octubre de 2018

*Fabián Soberanes Martín*

*Universidad Autónoma del Estado de México, México*

fabiansob@hotmail.com

## RESUMEN

Se documenta la existencia de correlaciones tanto clásicas como cuánticas en sistemas de partículas. El entrelazamiento cuántico es la más famosa de las correlaciones cuánticas. Se hace énfasis en que existe una correlación cuántica más allá del entrelazamiento cuántico llamada discordia cuántica. Se explica la interpretación de discordia cuántica como fusión de estado cuántico. Los sistemas no entrelazados pueden tener una discordia cuántica no nula. Se hace énfasis en que la discordia cuántica representa la diferencia en la extracción de la información por medios locales y globales.

**PALABRAS CLAVE:** correlaciones no-clásicas, fusión, estados cuánticos, información cuántica.

## ABSTRACT

It is documented the existence of correlations both classical and quantum in systems of particles. Quantum entanglement is the most popular of the quantum correlations. It is emphasized that there exist a quantum correlation beyond entanglement called quantum discord. It is explained the interpretation of quantum discord as a quantum state merging. Non entangled systems can have a non-zero quantum discord. It is emphasized that quantum discord represents the difference in the extraction of the information by local and global means.

**KEYWORDS:** non-classical correlations, merging, quantum states, quantum information.

## INTRODUCCIÓN

La llamada discordia cuántica es una correlación no-clásica que existe entre dos o más partes de un sistema. Las correlaciones cuánticas o no-clásicas aparecen en muchos protocolos diferentes que van desde los tecnológicos hasta los sistemas naturales. Por ejemplo, aparecen en protocolos tecnológicos como el cómputo cuántico (Nielsen y Chuang, 2000) y la criptografía cuántica (Gisin *et al.*, 2002). Por otra parte, en los sistemas naturales las correlaciones no clásicas juegan un papel central en fotosíntesis (Sarovar *et al.*, 2010), guías navegacionales de animales (Cai *et al.*, 2010), el enigma del universo materia-antimateria (Koide, 2007), así como también en comunicaciones y metrología (Plenio y Virrimani, 2007).

La ciencia que estudia las propiedades de las correlaciones cuánticas es la información cuántica, la cual aprovecha la estructura cuántica de la naturaleza para beneficio de la computación. Por más de una década este enfoque ha sido exitoso (Nielsen y Chuang, 2000). Vale la pena hacer la observación de que en la actualidad las correlaciones cuánticas son vistas y empleadas intensivamente como un valioso recurso para el procesamiento de la información (Devetak *et al.*, 2008). Quizá la más popular de las correlaciones cuánticas sea el entrelazamiento (Nielsen y Chuang, 2000). La discordia cuántica es una cantidad numérica que aglutina todas las correlaciones cuánticas posibles de un estado cuántico de un sistema dado, que incluye por supuesto

el entrelazamiento cuántico (Zurek, 2000; Ollivier y Zurek, 2001; Henderson y Vedral, 2001). Esta cantidad llamada discordia cuántica fue sugerida en sus orígenes como una medida universal de la *quanticidad* de una correlación dada, es decir, la discordia cuántica nos dice qué tan cuántica es. Cabe agregar que ha sido estudiada en una amplia variedad de sistemas y dispositivos (Luo, 2008; Maziero *et al.*, 2009; Adesso y Data, 2010). La necesidad de caracterizar la discordia cuántica como una medida de la *quanticidad* de un sistema surge del ruido inducido sobre un sistema por los alrededores (Zurek, 2003); dicha cantidad también ha sido relacionada a transiciones de fase cuánticas donde un sistema pasa de un estado con unas propiedades termodinámicas dadas a otras completamente diferentes (Sarandy, 2009). Con estos referentes, el objetivo del artículo es presentar a lectores no especialistas una interpretación de la discordia cuántica como una fusión de estados cuánticos.

## INTERPRETACIÓN

Existe un aparente conflicto acerca de la dicotomía de discordia cuántica en la ciencia de la información cuántica. Lo anterior es debido a que tiene interpretaciones independientes tanto termodinámicas como de información cuántica. No obstante, recientemente surgió una interpretación de discordia cuántica como una fusión de estado cuántico que trata de reconciliar ambos enfoques (Madhok y Data, 2011). La discordia cuántica se propone aglutinar todas las correlaciones cuánticas de un estado dado, incluido el entrelazamiento (Henderson y Vedral, 2001).

Por otra parte, la llamada información cuántica mutua (ICM) es considerada una medida de las correlaciones totales tanto clásicas como cuánticas de un estado cuántico. Para sistemas  $A$  y  $B$  la ICM está definida como  $I(A:B) = H(A) + H(B) - H(A, B)$ , donde  $H(\cdot)$  denota la entropía de Shannon de la distribución de probabilidad cuántica apropiada. Vale la pena observar en este punto que para una distribución de probabilidad clásica común la ley de Bayes conduce a una definición equivalente de la información mutua, esto es, dicha cantidad en el límite clásico se reduce a la fórmula simple  $I(A:B) = H(A) - H(A|B)$ , donde  $H(A|B)$  es la entropía de Shannon, lo cual motiva a que se emplee una definición de correlaciones clásicas. Una vez comentado lo anterior, se puede definir la discordia cuántica como (Henderson y Vedral, 2001):

$$\bar{D}(\rho_{AC}) = E_C(\rho_{AB}) + S(\rho_C) - S(\rho_{AC}) \quad (1)$$

donde  $\rho_{AC}$ ,  $\rho_{AB}$  y  $\rho_C$  son estados cuánticos puros (útiles para el procesamiento cuántico de la información),  $E(\cdot)$  es el costo de entrelazamiento (Plenio y Virimimani, 2007) y  $S(\rho_C)$  es la entropía asociada al estado  $\rho$ . Vale la pena observar que (1) es una ecuación de balance de correlaciones en donde el entrelazamiento contiene correlaciones extras. Luego entonces, con la ecuación (1) se pretende obtener una correlación única. Una consecuencia sumamente importante de la ecuación (1) es que la discordia cuántica *no* es aditiva dado que el costo del entrelazamiento no es aditivo por ser una cantidad termodinámicamente intensiva (Nielsen y Chuang, 2000).

Supongamos que Beto tiene acceso a alguna información incompleta  $Y$  y que Alicia tiene acceso a  $X$ , la parte faltante de Beto. Supongamos que  $X$  y  $Y$  son variables aleatorias que toman valores reales. La pregunta es la siguiente: Si Beto quiere conocer  $X$ , la parte de información que le falta, ¿cuánta información le puede enviar Alicia? Es obvio que ella le puede enviar  $H(X)$  bits a Beto para que el esté conforme. No obstante, ha sido demostrado por Slepian y Wolf que “ella puede enviar información mas privilegiada al enviar la información condicional  $H(X|Y) = H(X, Y) - H(Y)$ ” (Cover y Thomas, 2006). De este modo, los costos de comunicación en bits para Alicia se pueden reducir; para ello, hay que observar que  $H(X|Y) \leq H(X)$ . El significado de esta desigualdad es que *Alicia toma el máximo de ventajas de la correlación entre  $X$  y  $Y$  para reducir los costos de las comunicaciones necesarias para llevar a cabo la tarea*. Lo anterior es lo que se conoce como la interpretación

de la discordia cuántica como fusión de estado cuántico. Hay que observar que el protocolo de fusión de estado cuántico cuantifica la mínima cantidad de información cuántica, la cual Alicia debe enviarle a Beto de manera que él finalice con un estado arbitrariamente cercano al original, es decir, fidelidad cercana a la unidad. Así, la discordia es el incremento mínimo posible en el costo de la comunicación cuántica al efectuar la fusión de estado cuántico con una medición en el estado final que Beto recibe. Una limitante de esta interpretación de la discordia cuántica es que no es simétrica bajo el intercambio de los interlocutores Alicia y Beto (Vedral, 2017).

## COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Físicamente, de acuerdo con Zurek (2000), la discordia cuántica representa la diferencia entre la eficiencia de los demonios de Maxwell clásicos y cuánticos. No obstante, también está relacionada con la fidelidad de preparación de estado remoto, así como a la diferencia en la extracción de la información por medios locales y globales (Nielsen y Chuang, 2000). En general, se puede decir que la discordia mide las correlaciones cuánticas que van más allá de entrelazamiento cuántico. Es crucial afirmar que estados no entrelazados pueden poseer discordia cuántica no nula (Vedral, 2017).

## ANÁLISIS PROSPECTIVO

Entender las correlaciones cuánticas permitirá abrir nuevas y revolucionarias aplicaciones tecnológicas como el internet cuántico, la criptografía cuántica, la transferencia masiva de datos con una fidelidad cercana a la unidad o la teleportación cuántica, y así mejoraría tanto el nivel como la calidad de vida de las sociedades futuras. Asimismo, comprender dichas cantidades tiene un valor científico por sí mismo. En su momento, grandes científicos como Albert Einstein dudaron de la existencia de dichas correlaciones, las cuales ya están siendo medidas y detectadas en los grandes laboratorios de física del mundo. Trabajos como el que se presenta tienen entre otros propósitos incentivar a los cerebros jóvenes a que cultiven la información cuántica y la computación cuántica.

## REFERENCIAS

- Adesso, G., & Datta, A. (2010). Quantum versus classical correlations in Gaussian states. *Phys. Rev. Lett.*, *105*, 030501-030507.
- Cai, J., Guerreschi, G. G., & Briegel, H. J. (2010). Quantum control and entanglement in a chemical compass. *Phys. Rev. Lett.*, *104*, 220502-220507.
- Cover, T., & Thomas, J. (2006). *Elements of Information Theory*. New York: Wiley & Sons.
- Devetak, I., Harrow, A. W., & Winter, A. (2008). A resource framework for quantum Shannon Theory. *IEEE Trans. Inf. Theory.*, *54*, 4587-4618.
- Gisin, N., Ribordy, G., Tittel, W., Zbinden, H., & Simpson, H. (2002). Quantum cryptography. *Rev. Mod. Phys.*, *74*, 145-196.
- Henderson, L., & Vedral, V. (2001). Classical, quantum and total correlations. *J. Phys. A: Math. Gen.*, *34*(35), 6899-6912.
- Jahnke, T., Sann, H., Havermeier, T., & Kreide, K. ... (2010). Ultrafast energy transfer between water molecules, *Nat. Phys.*, *6*, 139-142.
- Koide, Y. (2007).  $S_3$  symmetry and neutrino masses and mixing. *Eur. Phys. J. C.*, *50*, 809-816.
- Luo, S. (2008). Quantum discord for two-qubit system. *Phys. Rev. A*, *77*, 042303-1-042303-8.

- Madhok, V., & Datta, A. (2011). Interpreting quantum discord through quantum state merging. *Phys. Rev. A*, *83*, 032323-1-032323-4.
- Maziero, J., Celeri, L. C., Serra, R. M., & Vedral, V. (2009). Classical and quantum correlations under decoherence. *Phys. Rev. A*, *80*, 044102-5-044102-77.
- Nielsen, M. A., & Chuang, I. (2000). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press.
- Ollivier, H., & Zurek, W. H. (2001). Quantum discord: A measure of the quantumness of correlations. *Phys. Rev. Lett.*, *88*, 017901-017934.
- Plenio, M. B., & Virrimani, S. (2007). An introduction to entanglement measures. *Quant. Inf. Comput.*, *7*, 1-51.
- Sarandy, M. S. (2009). Classical correlation and quantum discord in critical systems. *Phys. Rev. A*, *80*, 022108-1-022108-10.
- Sarovar, M., Ishizaki, A., Fleming, G. R., & Whaley, K. B. (2010). *Nat. Phys.*, *6*, 462.
- Vedral, V. (2017). *Foundations of Quantum Discord*. Quantum Science and Technology Book Series. Springer.
- Zurek, W. H. (2000). Einselection and decoherence from an information theory perspective. *Annalen der Physik (Leipzig)*, *9*(5), 855-864.
- Zurek, W. H. (2003). Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical. *Rev. Mod. Phys.*, *75*, 949-983.

CC BY-NC-ND