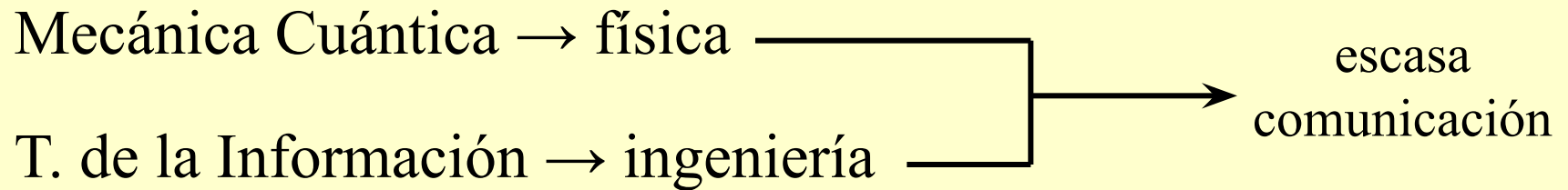


# *Mecánica cuántica e información*

*Olimpia Lombardi*

*CONICET – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad de Buenos Aires*

*Jornadas de Cuántica II  
La Plata, 15 y 16 de Noviembre de 2012*



Auge de la información cuántica

Interpretaciones informacionales de la cuántica

¿Qué es la información?

# *Contenido*

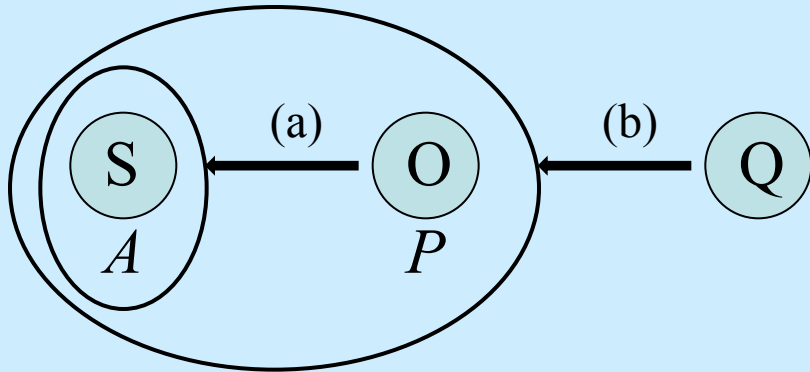
- Eventos que condujeron a esta charla
- La mecánica cuántica relacional de Rovelli
- La teoría de la información de Shannon
- ¿Qué es la información?
- Información en mecánica cuántica
- Reflexiones finales

# Los eventos

---

- Observación científica → información
  - “Observación e información” (2001), *Analogía*, 15: 29-59.
  - “What is information?” (2004), *Foundations of Science*, 9: 105-134.
  - “Dretske, Shannon’s theory and the interpretation of information” (2005), *Synthese*, 144: 23-39.
  
- Congreso sobre ontología (San Sebastián)
  - Carlo Rovelli (1997), “Relational quantum mechanics”
  
- Luciano Floridi → philosophy of information

# Rovelli: “Relational quantum mechanics”



O y Q son sistemas  
cuánticos

(a)  $\alpha_1 |a_1\rangle + \alpha_2 |a_2\rangle \rightarrow |a_1\rangle$  S tiene la propiedad  $a_1$

(b)  $(\alpha_1 |a_1\rangle + \alpha_2 |a_2\rangle) |p_0\rangle \rightarrow \alpha_1 |a_1\rangle |p_1\rangle + \alpha_2 |a_2\rangle |p_2\rangle$

**Conclusión:** In quantum mechanics different observers may give different accounts of the same sequence of events

(notar supuestos: colapso y e-e link)

# Rovelli: “Relational quantum mechanics”

---

**Hipótesis 1:** All systems are equivalent: nothing distinguishes a priori macroscopic systems from quantum systems

**Hipótesis 2:** Quantum mechanics provides a complete and self-consistent scheme of description of the physical world

## **Tesis de la relatividad**

A quantum mechanical description of a certain system (state and/or values of physical quantities) cannot be taken as an “absolute” (observer independent) description of reality, but rather as a formalization, or codification, of properties of a system *relative* to a given observer

# Rovelli: “Relational quantum mechanics”

---

- The pointer variable  $P$  of  $O$  has information about the  $A$  variable of  $S$ .
- The pointer value of  $Q$  has information about the fact that the pointer variable  $P$  of  $O$  has information about the  $A$  variable of  $S$ .



The theory describes only the information that systems have about each other

Quantum mechanics is a theory about information

# Rovelli: “Relational quantum mechanics”

---

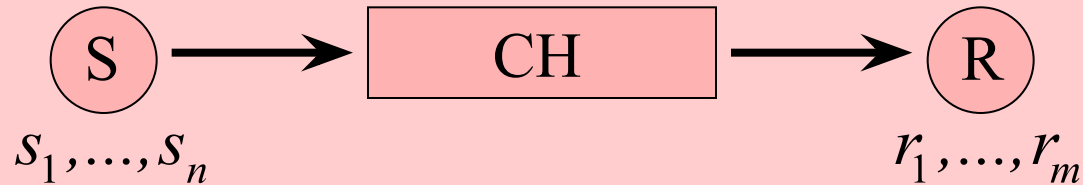
## *Caracterización de información*

- **objetiva** *I do not make any reference to conscious, animate, or computing, or in any other manner special, system.*
- **relacional** *information indicates the usual ascription of values to quantities that founds physics, but emphasizes their relational aspect.*
- **se manifiesta a través de correlaciones**  
*Information expresses the fact that a system is in a certain configuration, which is correlated to the configuration of another system*  
*Correlation is “information”.*
- **“Information theory” es la teoría de Shannon**  
*I use information theory in its information-theory meaning (Shannon): information is a measure of the number of states in which a system can be –or in which several systems whose states are physically constrained (correlated) can be.*



# Teoría de Shannon

“The significant aspect is that the actual message is one selected from a set of possible messages” (Shannon 1948)



Cantidad de información generada en la fuente por la ocurrencia de  $s_i$

$$I(s_i) = \log(1/p(s_i))$$

Cantidad **media** de información generada en la fuente

$$I(S) = \sum_i p(s_i) \log(1/p(s_i))$$

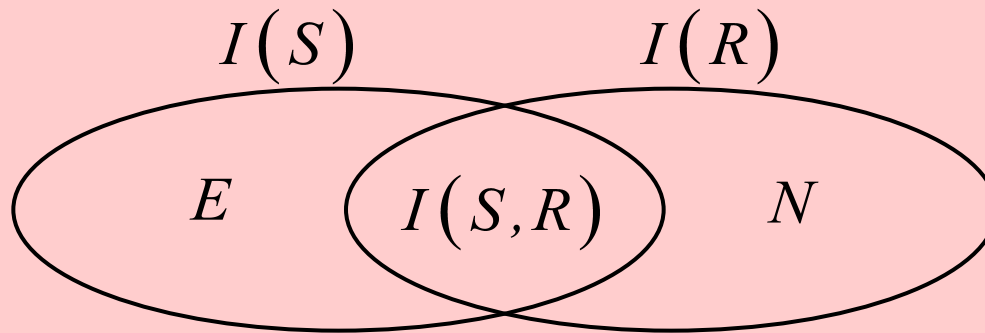
Cantidad de información recibida en el receptor por la ocurrencia de  $r_i$

$$I(r_i) = \log(1/p(r_i))$$

Cantidad **media** de información recibida en el receptor

$$I(R) = \sum_i p(r_i) \log(1/p(r_i))$$

# Teoría de Shannon

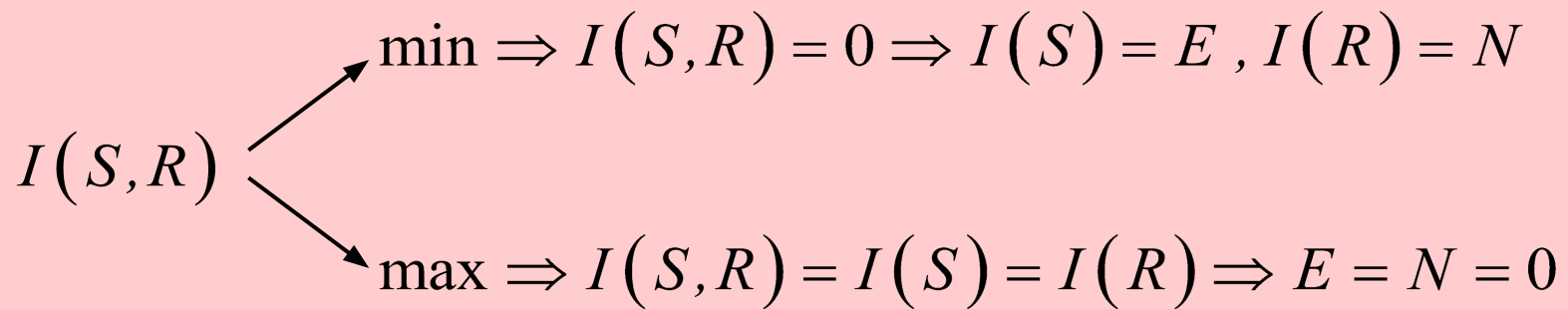


$E$  : Equivocidad

$N$  : Ruido

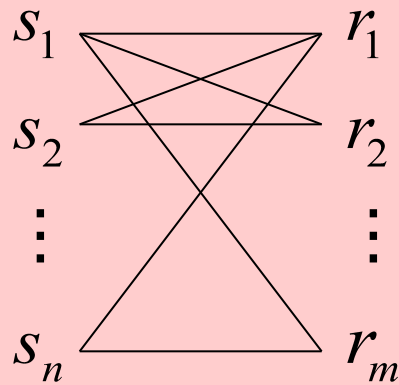
$I(S, R)$  : Transinformación

$$I(S, R) = I(S) - E = I(R) - N$$



# Teoría de Shannon

Canal  $\left[ p(r_j/s_i) \right]$  matriz



$$C = \max I(S, R)$$

$$E = \sum_j p(r_j) \sum_i p(s_i/r_j) \log(1/p(s_i/r_j)) = \sum_j \sum_i p(r_j, s_i) \log(1/p(s_i/r_j))$$

$$N = \sum_i p(s_i) \sum_j p(r_j/s_i) \log(1/p(r_j/s_i)) = \sum_i \sum_j p(s_i, r_j) \log(1/p(r_j/s_i))$$

# Teoría de Shannon

## *Información*

- objetiva → no hay relación con sujetos
- relacional → depende de la definición de fuente y receptor
- se manifiesta a través de correlaciones  $[p(r_j/s_i)]$

No es suficiente para fijar una interpretación del concepto de información

# ¿Qué es la información?

---

“What is information?” (2004), *Foundations of Science*

Tres interpretaciones:

- Gnoseológica
- Física
- Sintáctica

# ¿Qué es la información?

---

## Interpretación gnoseológica:

- Es algo que suministra conocimiento

*“A state of affairs contains information about X to just that extent to which a suitable placed observer could learn something about X by consulting it”; “information is a commodity that, given the right recipient, is capable of yielding knowledge” (Dretske 1981)*

*“O «knows” the quantity A of S” (Rovelli 1997)*

*“Information, what is produced by a source, or what is transmitted, is not a concrete thing or a stuff [...] ‘information’ is an abstract noun (in fact an abstract mass noun), not a concrete one” (Timpson 2008)*

# ¿Qué es la información?

---

## Interpretación física:

- Es una entidad física que puede ser generada, acumulada, almacenada, procesada, convertida de una forma a otra, transmitida de un lugar a otro.
- Su transferencia exige interacción y su transmisión siempre requiere una entidad portadora.

**“No information without representation”**

*“Information is physical” “Information is not a disembodied abstract entity; it is always tied to a physical representation. It is represented by engraving on a stone tablet, a spin, a charge, a hole in a punched card, a mark on a paper, or some other equivalent” (Landauer 1996)*

*“information is transferred between states through interaction” (Kosso 1989)*

*“communication is a physical interaction” (Rovelli 1997)*

# ¿Qué es la información?

**Experimentos negativos** (observación como adquisición de información)



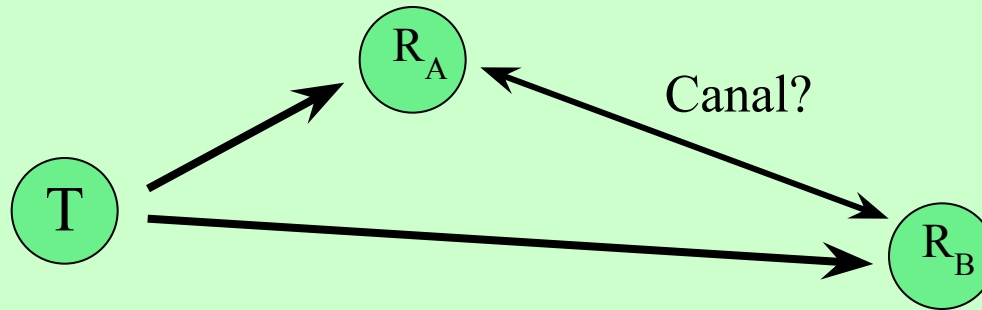
- Perfecta anticorrelación (presencia-ausencia)
- No hay propagación de señal de A a B

Se detecta en A: ¿cómo se describe nuestro acceso a lo que sucede en B?

- ✓ **Interpretación gnoseológica:** observo la presencia en B
- ✓ **Interpretación física:** infiero la presencia en B



# ¿Qué es la información?

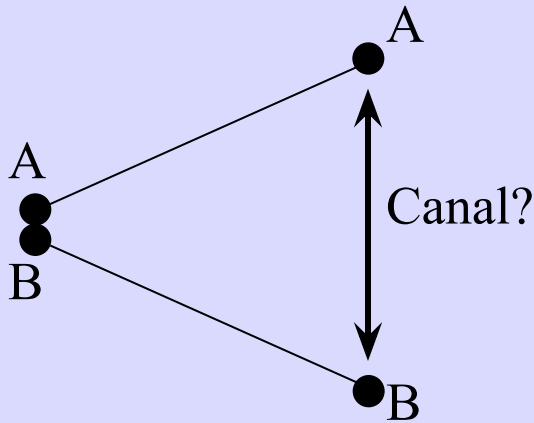


- ✓ **Interpretación física:** No (no hay señal entre R<sub>A</sub> y R<sub>B</sub>)
- ✓ **Interpretación gnoseológica:** Puede definirse entre R<sub>A</sub> y R<sub>B</sub>
  - Puede saberse el estado de R<sub>B</sub> consultando R<sub>A</sub>
  - Incluso puede conocerse el estado futuro de R<sub>B</sub>

*“from a theoretical point of view [. . .] the communication channel may be thought of as simply the set of depending relations between S and R. If the statistical relations defining equivocation and noise between S and R are appropriate, then there is a channel between these two points, and information passes between them, even if there is no direct physical link joining S with R” (Dretske 1981)*

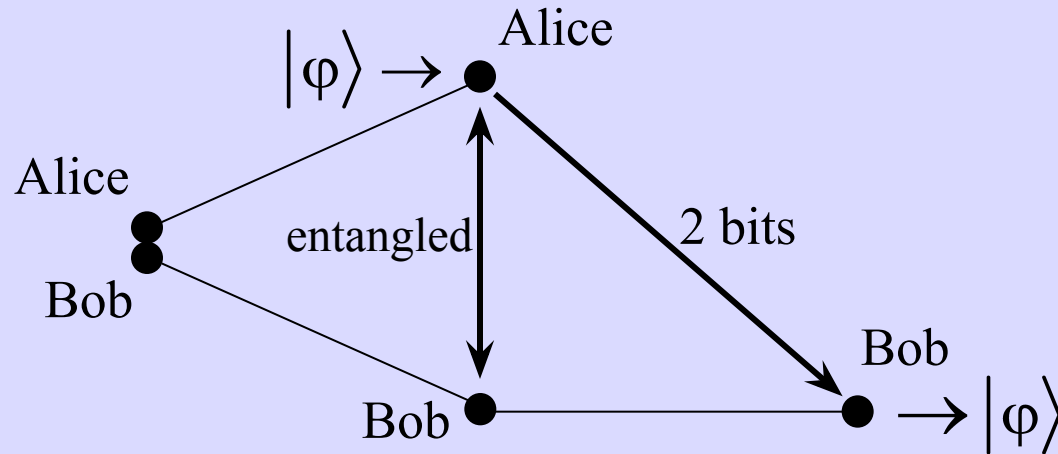
# Información en mecánica cuántica

## Correlación EPR



- ✓ **Interpretación física:** No (no hay señal)
- ✓ **Interpretación gnoseológica:** Sí (hay correlaciones)

# Información en mecánica cuántica



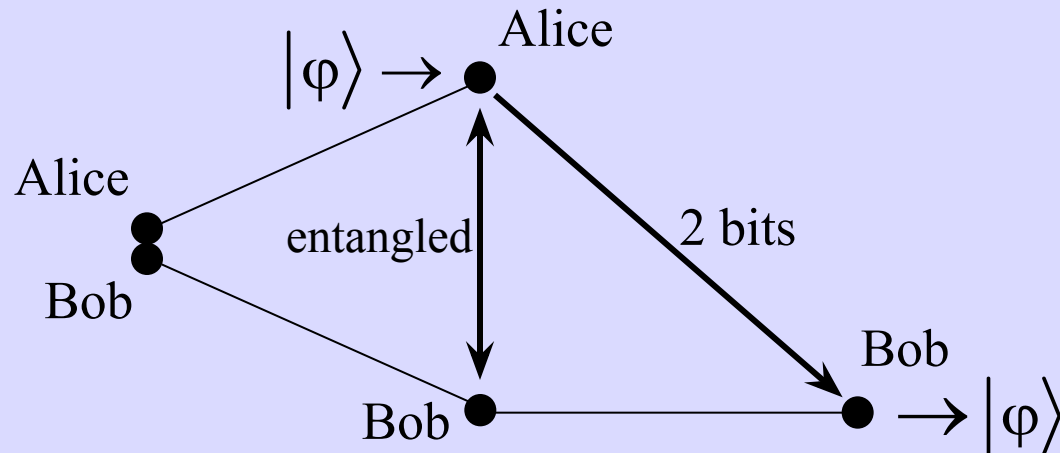
## Teletransportación

No hay duda sobre el canal clásico

¿Cómo se transmite la información del estado  $|\phi\rangle$ ?

*“How is it that the continuous “information” of the spin direction of the state that she wishes to transmit can be transmitted to Bob when she actually sends him only two bits of discrete information? The only other link between Alice and Bob is the quantum link that the entangled pair provides. In spacetime terms this link extends back into the past from Alice to the event at which the entangled pair was produced, and then it extends forward into the future to the event where Bob performs his operation. [...] There is no other **physical** connection”* (Penrose 1998)

# Información en mecánica cuántica



## Teletransportación

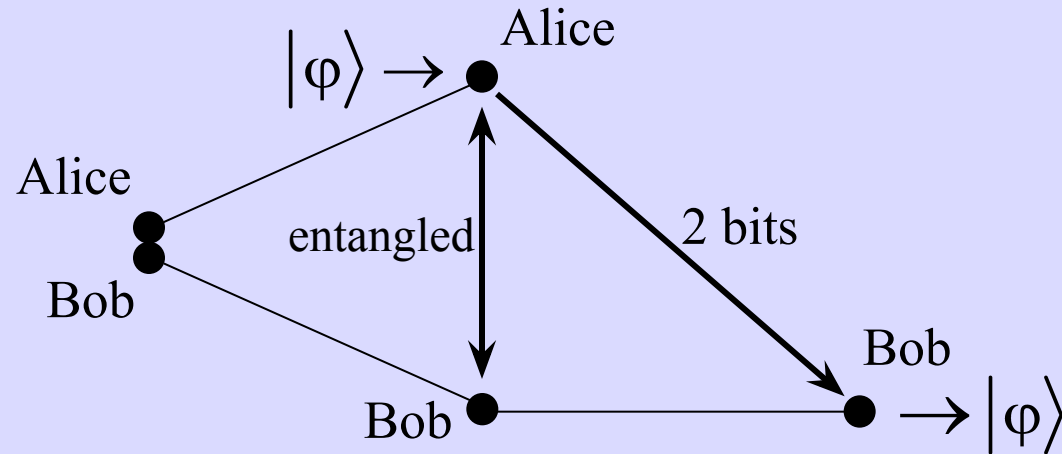
No hay duda sobre el canal clásico

¿Cómo se transmite la información del estado  $|\phi\rangle$ ?

- Mediante un canal físico hacia el pasado (Penrose, Jozsa)
- La información física fluye escondida en lo que creíamos bits clásicos (Deutsch & Hayden)

Ambos suponen una interpretación física de la información

# Información en mecánica cuántica



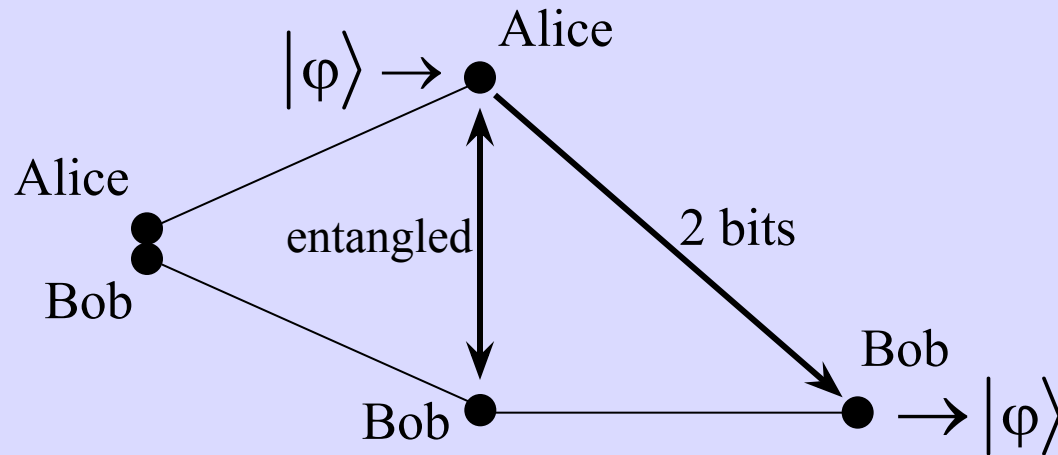
## Teletransportación

No hay duda sobre el canal clásico

¿Cómo se transmite la información del estado  $|\phi\rangle$ ?

“‘How does the information get from Alice to Bob?’ [...]. Our troubles arise when we take this phrase to be referring to a particular, to some sort of substance (stuff), perhaps, or to an entity, whose behaviour in teleportation it is our task to describe. [...] But when we recognise that ‘information’ is an abstract noun, this pressure disappears.[...] The legitimate meaning of ‘How does the information get from Alice to Bob?’, then, is just this: it is a roundabout way of asking what physical processes are involved in achieving the protocol” (Timpson 2008)

# Información en mecánica cuántica



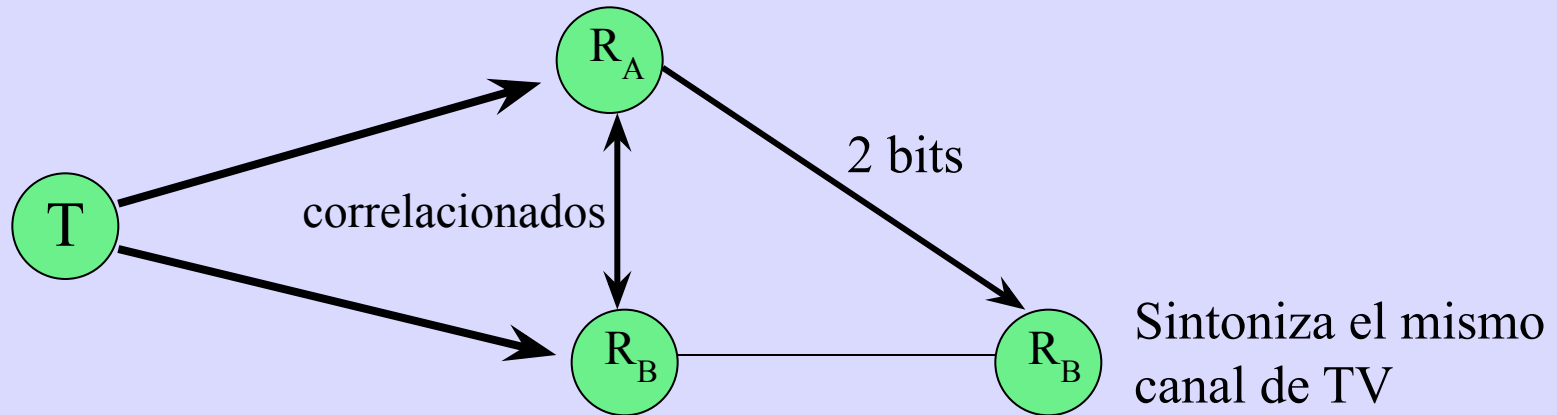
## Teletransportación

No hay duda sobre el canal clásico

¿Cómo se transmite la información del estado  $|\phi\rangle$ ?

- Mediante un canal físico hacia el pasado (Penrose, Jozsa)
- La información física fluye escondida en lo que creíamos bits clásicos (Deutsch & Hayden)
- Pregunta legítima: qué procesos físicos se requieren para cumplir el protocolo (Timpson)

# Información en mecánica cuántica



¿La pregunta legítima se refiere a qué procesos físicos se requieren para cumplir el protocolo?

# Reflexiones finales

---

- Si se pretende interpretar la mecánica cuántica en términos de información, previamente hay que tener claro qué se entiende por información (Shannon no es suficiente).
- Si no se pretende usar el concepto de información para fines interpretativos en mecánica cuántica, puede adoptarse una posición “pluralista” → *interpretación sintáctica*.
- Con una adecuada interpretación del concepto de información, tal vez podría formularse una interpretación modal-informacional de la mecánica cuántica (diferente de la de Rovelli).



MUCHAS GRACIAS !!!