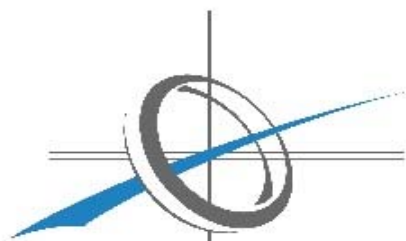


MÁSTER EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA COMPUTACIÓN

Jesús García López de Lacalle

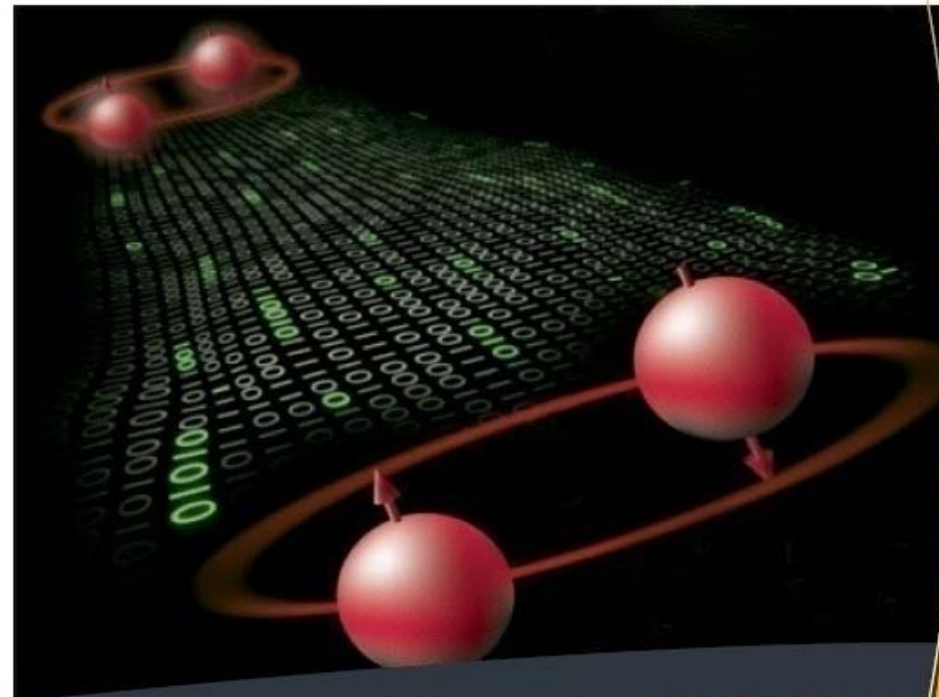


Universidad
Politécnica
de Madrid

ETSI SISTEMAS
INFORMÁTICOS



tecnologías emergentes



Información **CUÁNTICA**

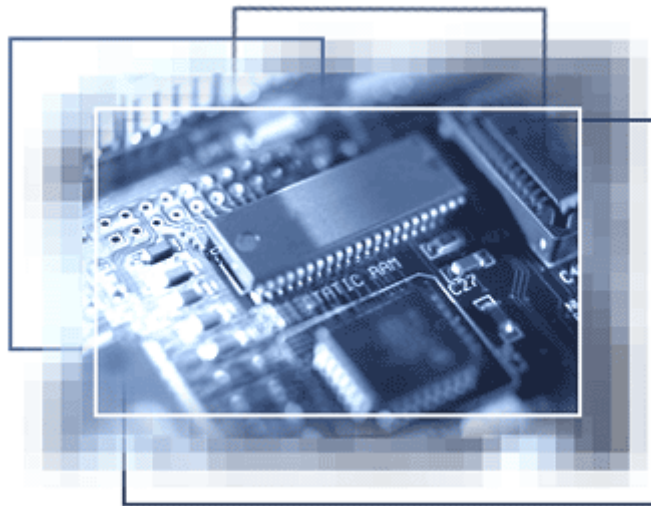


INFORMACIÓN CUÁNTICA

- Límites de la tecnología actual
- Futuro de la tecnología de computadores
- Soporte de la información
- Unidad de información cuántica (qubit)
- Qubits entrelazados (EPR)
- Imposibilidad de copiar qubits
- Teletransporte de qubits



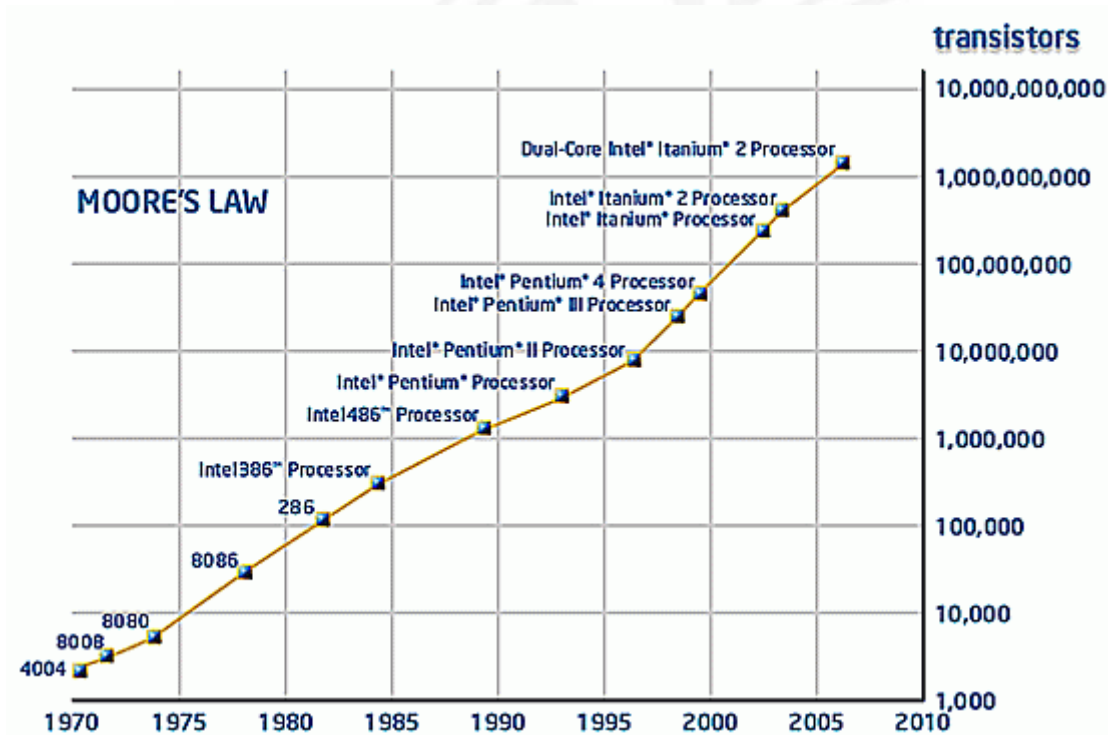
Límites de la tecnología actual



¡No se puede reducir indefinidamente el tamaño de los componentes de los dispositivos!



Límites de la tecnología actual



¡No se puede mantener indefinidamente el crecimiento de la potencia de los ordenadores!



Futuro de la tecnología de computadores

- ❖ El ordenador del futuro

- ❖ Algunos algoritmos cuánticos:

Grover (1995): Encontrar un elemento en un conjunto desordenado de tamaño N

$$O(\sqrt{N})$$

Shor (1994): Factorizar un número natural N y calcular el logaritmo discreto de A módulo N

$$O(\log^4(N) \log \log(N))$$

- ❖ Primer ordenador cuántico



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Sistemas Informáticos

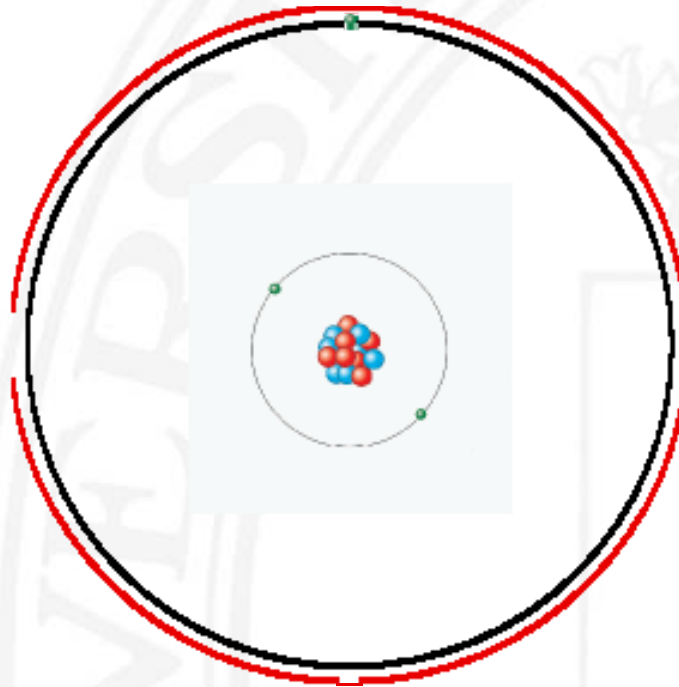
Soporte de la información



Circuito abierto-cerrado



Soporte de la información



Estado fundamental-excitado



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Sistemas Informáticos

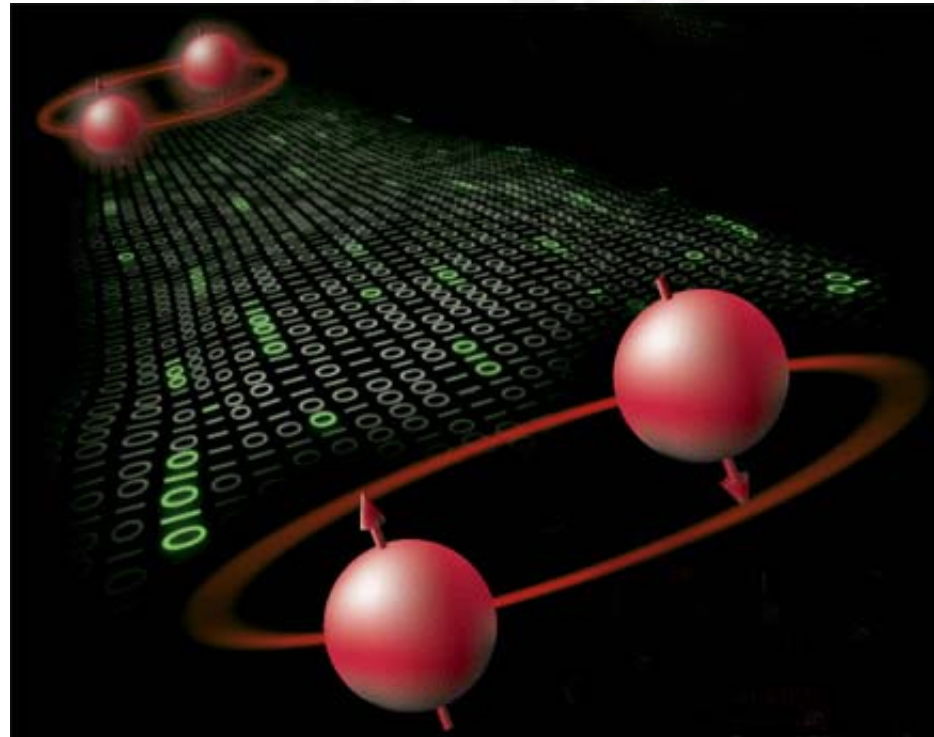
Soporte de la información



Información clásica



Soporte de la información



Información cuántica



Unidad de información cuántica (qubit)

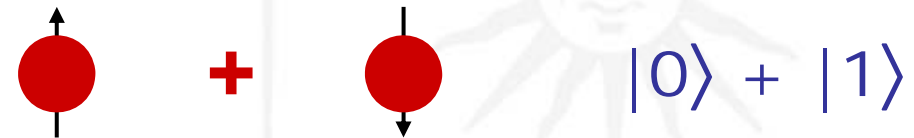
Estado 1:



Estado 2:



Estado mezcla:



Principio de superposición



Unidad de información cuántica (qubit)

Estado mezcla:

$$\frac{\begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \\ \downarrow \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \\ \uparrow \end{array}}{\sqrt{2}} \quad \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

Estado mezcla:

$$\frac{\begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \\ \downarrow \end{array} + \sqrt{3} \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \\ \uparrow \end{array}}{2} \quad \frac{|0\rangle + \sqrt{3}|1\rangle}{2}$$

Estado mezcla:

$$\frac{\begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \\ \downarrow \end{array} + i \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \\ \uparrow \end{array}}{\sqrt{2}} \quad \frac{|0\rangle + i|1\rangle}{\sqrt{2}}$$



Unidad de información cuántica (qubit)

Leer (medir):

$$\frac{\begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \\ \downarrow \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \\ \uparrow \end{array}}{\sqrt{2}}$$

Resultado:





Unidad de información cuántica (qubit)

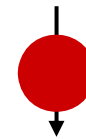
Leer (medir):

$$\frac{\uparrow \bullet + \sqrt{3} \downarrow \bullet}{2}$$

Resultado:



con prob. 1/4



con prob. 3/4

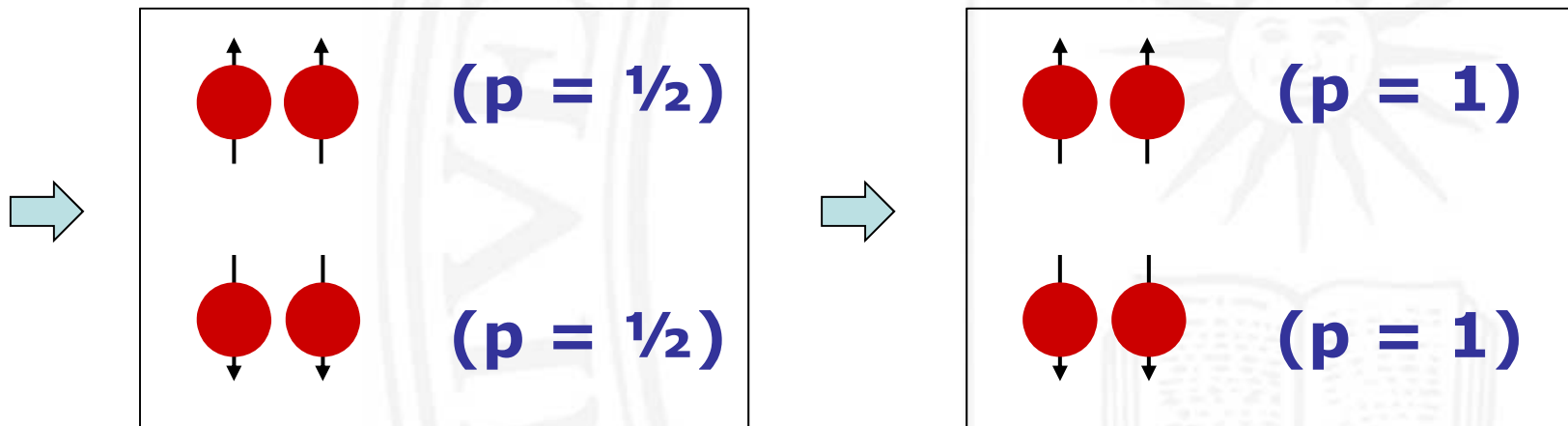


Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \\ \uparrow \end{array} \begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \\ \uparrow \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \\ \downarrow \end{array} \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \\ \downarrow \end{array}}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

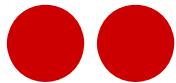
Medimos el 1^{er} qubit y luego el 2^o:





Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:



Madrid

$$\frac{\begin{array}{cc} \uparrow & \uparrow \\ \bullet & \bullet \end{array} + \begin{array}{cc} \downarrow & \downarrow \\ \bullet & \bullet \end{array}}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

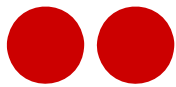
Sevilla



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$



Madrid

Sevilla



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$



Madrid



Sevilla



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

Madrid

0

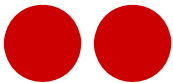
Sevilla

0



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:



Madrid

0

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

Sevilla

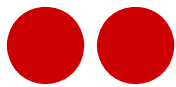
0



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$



Madrid

0

Sevilla

0



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$



Madrid

0



Sevilla

0



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

Madrid

01

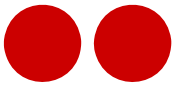
Sevilla

01



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:



Madrid

01

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

Sevilla

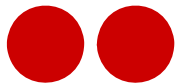
01



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$



Madrid

01

Sevilla

01



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$



Madrid

01



Sevilla

01



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

Madrid

011

Sevilla

011



Qubits entrelazados (EPR)

Par EPR:

$$\frac{\uparrow\uparrow + \downarrow\downarrow}{\sqrt{2}} = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

Madrid

011...

Sevilla

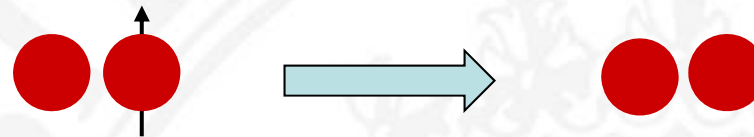
011...

Protocolo de distribución de claves

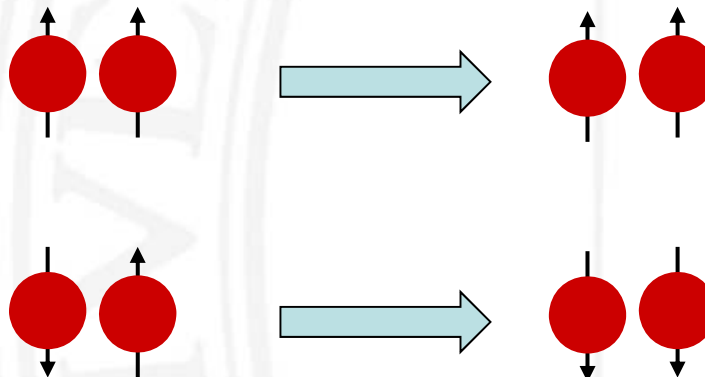


Imposibilidad de copiar qubits

Copiador:

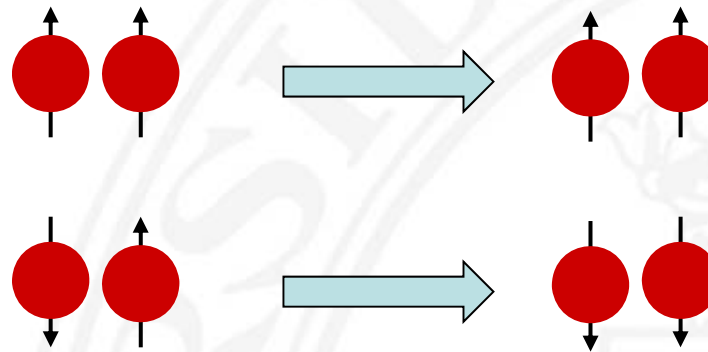


Supongamos que copia los qubits $|0\rangle$ y $|1\rangle$:





Imposibilidad de copiar qubits



Entonces no puede copiar $|0\rangle + |1\rangle$:

$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \end{array} \right) \begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} = \begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} \begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \end{array} \begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} \begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \end{array} \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \end{array} \\ & \neq \left(\begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \uparrow \\ \bullet \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \\ \bullet \end{array} \right) \end{aligned}$$

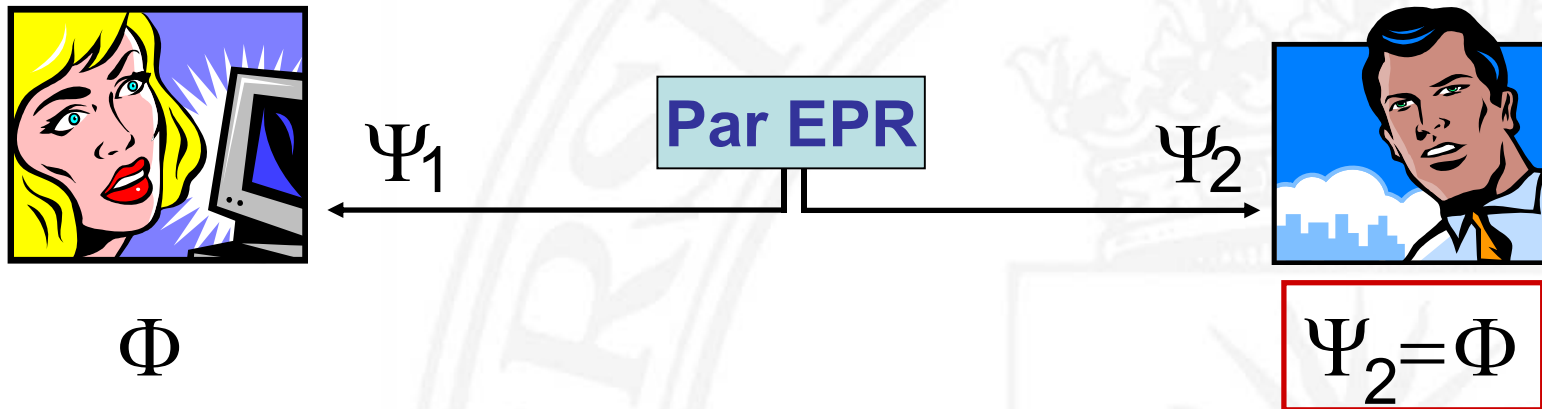


Teletransporte de qubits





Teletransporte de qubits



- **Alice opera con los estados Φ y Ψ_1**
- **Da instrucciones por teléfono a Bob**
- **Bob opera con Ψ_2 siguiendo instrucciones**



**Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Sistemas Informáticos**

