

Ventaja contextual en la clonación estado-dependiente

Matteo Lostaglio¹ and *Gabriel Senno*¹

¹ICFO - The Institute of Photonic Sciences.



arXiv:1905.08291

El teorema de no-clonación

El teorema de no-clonación establece que para ningún par de estados cuánticos distintos y no-ortogonales $|\psi_1\rangle$ y $|\psi_2\rangle$ existe un canal cuántico \mathcal{C} tal que

$$\mathcal{C}(|\psi_i\rangle\langle\psi_i|) = |\psi_i\rangle\langle\psi_i| \otimes |\psi_i\rangle\langle\psi_i|, \quad i = 1, 2.$$

El teorema de no-clonación

El teorema de no-clonación establece que para ningún par de estados cuánticos distintos y no-ortogonales $|\psi_1\rangle$ y $|\psi_2\rangle$ existe un canal cuántico \mathcal{C} tal que

$$\mathcal{C}(|\psi_i\rangle\langle\psi_i|) = |\psi_i\rangle\langle\psi_i| \otimes |\psi_i\rangle\langle\psi_i|, \quad i = 1, 2.$$

Este resultado es usualmente considerado una de las características no-clásicas de la mecánica cuántica.

Clonación imperfecta

Dados dos estados $|a\rangle$ y $|b\rangle$ preparados con igual probabilidad, ¿cuán bien se los puede clonar?

Clonación imperfecta

Dados dos estados $|a\rangle$ y $|b\rangle$ preparados con igual probabilidad, ¿cuán bien se los puede clonar?

Buscamos una *maquina clonadora* \mathcal{M} que maximice la *fidelidad global promedio*

$$F_g^Q := \frac{1}{2}F(\mathcal{M}(|a\rangle\langle a|), |aa\rangle\langle aa|) + \frac{1}{2}F(\mathcal{M}(|b\rangle\langle b|), |bb\rangle\langle bb|).$$

Clonación imperfecta

Dados dos estados $|a\rangle$ y $|b\rangle$ preparados con igual probabilidad, ¿cuán bien se los puede clonar?

Buscamos una *maquina clonadora* \mathcal{M} que maximice la *fidelidad global promedio*

$$F_g^Q := \frac{1}{2}F(\mathcal{M}(|a\rangle\langle a|), |aa\rangle\langle aa|) + \frac{1}{2}F(\mathcal{M}(|b\rangle\langle b|), |bb\rangle\langle bb|).$$

Bruß et al.¹ probaron que la \mathcal{M} óptima alcanza

$$F_g^{Q,\text{opt}}(c_{ab}) := \frac{1}{4} \left[\sqrt{(1 + c_{ab})(1 + \sqrt{c_{ab}})} + \sqrt{(1 - c_{ab})(1 - \sqrt{c_{ab}})} \right]^2$$

con $c_{ab} := |\langle a|b\rangle|^2$.

¹Dagmar Bruß y col. "Optimal universal and state-dependent quantum cloning". En: *Physical Review A* 57.4 (1998), pág. 2368.

Nuestro resultado

Teorema (informal)

*Ningún modelo de variables ocultas **no-contextual** puede reproducir $F_g^{\text{Q,opt}}(c_{ab})$ para todo $0 < c_{ab} < 1$. Equivalentemente, la contextualidad es necesaria en la estrategia cuántica óptima para maximizar la fidelidad global de un clonador estado-dependiente.*

Nuestro resultado

Teorema (informal)

*Ningún modelo de variables ocultas **no-contextual** puede reproducir $F_g^{\text{Q,opt}}(c_{ab})$ para todo $0 < c_{ab} < 1$. Equivalentemente, la contextualidad es necesaria en la estrategia cuántica óptima para maximizar la fidelidad global de un clonador estado-dependiente.*

Sabemos hace rato que la mecánica cuántica es contextual ¿ No es obvio que ningún modelo no-contextual va a poder explicar $F_g^{\text{Q,opt}}$?

Fragmentos no-contextuales de la mecánica cuántica

- ERL mechanics, by Bartlett et al.²
- Spekkens' toy theory³.

²Stephen D Bartlett, Terry Rudolph y Robert W Spekkens. "Reconstruction of Gaussian quantum mechanics from Liouville mechanics with an epistemic restriction". En: *Physical Review A* 86.1 (2012), pág. 012103.

³Robert W Spekkens. "Evidence for the epistemic view of quantum states: A toy theory". En: *Physical Review A* 75.3 (2007), pág. 032110.

Fragmentos no-contextuales de la mecánica cuántica

- ERL mechanics, by Bartlett et al.²
- Spekkens' toy theory³.

Estados no-ortogonales se corresponden con distribuciones de probabilidad con soporte no-disjunto, las cuales no se pueden clonar.

²Stephen D Bartlett, Terry Rudolph y Robert W Spekkens. "Reconstruction of Gaussian quantum mechanics from Liouville mechanics with an epistemic restriction". En: *Physical Review A* 86.1 (2012), pág. 012103.

³Robert W Spekkens. "Evidence for the epistemic view of quantum states: A toy theory". En: *Physical Review A* 75.3 (2007), pág. 032110.

Fragmentos no-contextuales de la mecánica cuántica

- ERL mechanics, by Bartlett et al.²
- Spekkens' toy theory³.

Estados no-ortogonales se corresponden con distribuciones de probabilidad con soporte no-disjunto, las cuales no se pueden clonar.

²Stephen D Bartlett, Terry Rudolph y Robert W Spekkens. "Reconstruction of Gaussian quantum mechanics from Liouville mechanics with an epistemic restriction". En: *Physical Review A* 86.1 (2012), pág. 012103.

³Robert W Spekkens. "Evidence for the epistemic view of quantum states: A toy theory". En: *Physical Review A* 75.3 (2007), pág. 032110.

Tareas en información cuántica para las cuales la contextualidad provee una ventaja

- 1 Howard, Mark, et al. "Contextuality supplies the 'magic' for quantum computation", Nature 510.7505 (2014): 351.
- 2 Schmid, David, and Robert W. Spekkens. "Contextual advantage for state discrimination", Physical Review X 8.1 (2018): 011015.
- 3 Saha, Debashis, and Anubhav Chaturvedi. "Preparation contextuality as an essential feature underlying quantum communication advantage." Physical Review A 100.2 (2019): 022108.
- 4 Estrategia óptima para clonación estado-dependiente
- 5 ...

Lo que viene, lo que viene

- 1 Definición de no-contextualidad (generalizada).
- 2 Descripción operacional del experimento de clonación estado-dependiente.
- 3 Cota no-contextual para la fidelidad global de clonadores estado dependiente: idea de la prueba y modelo no-contextual que satura la cota.
- 4 Version resistente a ruido.
- 5 Conclusiones y posible trabajo futuro.

No-contextualidad generalizada

Modelos ontológicos para teorías operacionales

Procedimiento experimental	MC	Modelos ontológicos
Preparaciones P	Operadores de densidad ρ	Espacio óntico Λ $\mu_P : \Lambda \rightarrow [0, 1]$ $\mu_P(\lambda) \geq 0 \quad \forall \lambda$ $\int d\lambda \mu_P(\lambda) = 1$
Mediciones M	POVMs $\{E_k\}$	$\xi_{k M}(\lambda) : \Lambda \rightarrow [0, 1]$ $\sum_k \xi_{k M}(\lambda) = 1 \forall \lambda$
Transformaciones T	Mapas CPTP \mathcal{E}	$\Gamma_T : \Lambda_{in} \times \Lambda_{out} \rightarrow [0, 1]$ $\int_{\Lambda_{out}} d\lambda_o \Gamma_T(\lambda_i, \lambda_o) = 1 \quad \forall \lambda_i$
$p(k M, P, T)$	$\text{Tr}(\mathcal{E}(\rho))$	$\int d\lambda' d\lambda \xi_{k M}(\lambda') \Gamma_T(\lambda, \lambda') \mu_P(\lambda)$

No-contextualidad para preparaciones

Decimos que dos preparaciones P_1 y P_2 son *operacionalmente equivalentes* (y lo denotamos $P_1 \simeq P_2$) sii $p(k|M, P_1) = p(k|M, P_2)$ para todo k y M .

No-contextualidad para preparaciones

Decimos que dos preparaciones P_1 y P_2 son *operacionalmente equivalentes* (y lo denotamos $P_1 \simeq P_2$) sii
 $p(k|M, P_1) = p(k|M, P_2)$ para todo k y M .

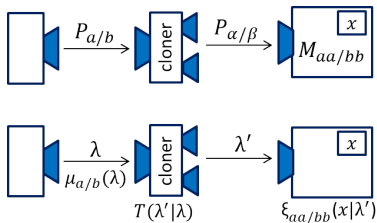
Decimos que un modelo ontológico es *no-contextualidad para preparaciones*⁴ sii

$$P_1 \simeq P_2 \implies \mu_{P_1}(\lambda) = \mu_{P_2}(\lambda) \quad \forall \lambda$$

⁴Robert W Spekkens. "Contextuality for preparations, transformations, and unsharp measurements". En: *Physical Review A* 71.5 (2005), pág. 052108.

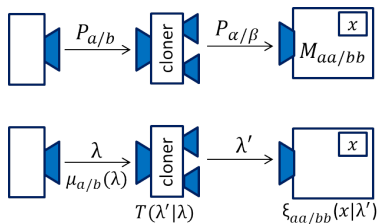
Clonación en términos operacionales

Descripción operacional del experimento de clonación



- Preparaciones P_s
 - Entradas: P_a and P_b .
 - Salidas: P_α and P_β .
 - Clones perfectos: P_{aa} and P_{bb} .

Descripción operacional del experimento de clonación



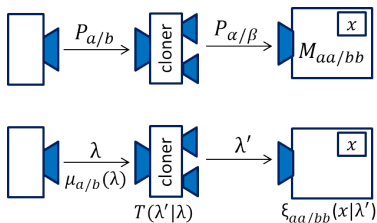
- Preparaciones P_s

- Entradas: P_a and P_b .
- Salidas: P_α and P_β .
- Clones perfectos: P_{aa} and P_{bb} .

- Mediciones de test M_s

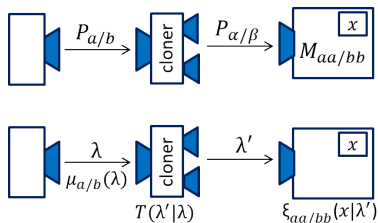
$$p(s|P_s, M_s) = 1 \quad s \in \{a, b, \alpha, \beta, aa, bb\}.$$

Descripción operacional del experimento de clonación



- Preparaciones P_s
 - Entradas: P_a and P_b .
 - Salidas: P_α and P_β .
 - Clones perfectos: P_{aa} and P_{bb} .
- Mediciones de test M_s
 - $p(s|P_s, M_s) = 1 \quad s \in \{a, b, \alpha, \beta, aa, bb\}$.
- Definimos
 - $c_{ss'} := p(s|M_s, P'_s)$.
- Notar que $F_g := \frac{c_{\alpha aa} + c_{\beta bb}}{2}$

Descripción operacional del experimento de clonación



- Preparaciones P_s
 - Entradas: P_a and P_b .
 - Salidas: P_α and P_β .
 - Clones perfectos: P_{aa} and P_{bb} .

- Mediciones de test M_s

$$p(s|P_s, M_s) = 1 \quad s \in \{a, b, \alpha, \beta, aa, bb\}.$$

- Definimos

$$c_{ss'} := p(s|M_s, P_{s'}).$$

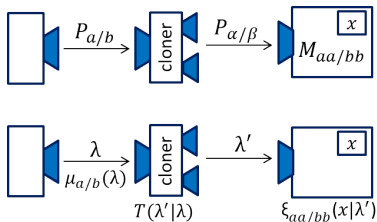
- Notar que $F_g := \frac{c_{\alpha aa} + c_{\beta bb}}{2}$

- Preparaciones complementarias P_{s^\perp}

$$p(s|P_{s^\perp}, M_s) = 0 \quad s \in \{a, b, \alpha, \beta, aa, bb\},$$

$$\frac{1}{2}P_s + \frac{1}{2}P_{s^\perp} \simeq \frac{1}{2}P_{s'} + \frac{1}{2}P_{s'^\perp} \quad (s, s') \in \{(a, b), (aa, bb), (\alpha, aa), (\beta, bb)\}.$$

Descripción operacional del experimento de clonación



En el formalismo cuántico:

- $P_a \leftarrow |a\rangle$ y $P_b \leftarrow |b\rangle$.
- $P_{a^\perp} \leftarrow |a^\perp\rangle$ y $P_{b^\perp} \leftarrow |b^\perp\rangle$ con $|a^\perp\rangle, |b^\perp\rangle \in \text{span}\{|a\rangle, |b\rangle\}$ y $\langle a|a^\perp\rangle = \langle b|b^\perp\rangle = 0$.
- $M_a \leftarrow \{|a\rangle\langle a|, \mathbb{I} - |a\rangle\langle a|\}$ con $M_b \leftarrow \{|b\rangle\langle b|, \mathbb{I} - |b\rangle\langle b|\}$.

Y similarmente para c/u de $(aa, bb), (\alpha, aa), (\beta, bb)$.

Nuestro resultado

Cota no-contextual para la fidelidad global promedio en clonación estado-dependiente

Teorema

En todo modelo ontológico no-contextual que reproduzca

- 1 $p(M_k|P_k) = 1, \quad p(M_k|P_{k^\perp}) = 0, \quad s = a, b, aa, bb, \alpha, \beta$
- 2 $\frac{1}{2}P_s + \frac{1}{2}P_{s^\perp} \simeq \frac{1}{2}P_{s'} + \frac{1}{2}P_{s'^\perp}$ para todo (s, s') en $\{(a, b), (\alpha, aa), (\beta, bb)\}$,

se tiene que

$$F_g \leq F_g^{\text{NC}} := 1 - \frac{c_{ab}}{2} + \frac{c_{aa,bb}}{2}$$

Ingredientes de la prueba:

- Lema: $\|\mu_a - \mu_b\| = 2(1 - c_{ab})$ para todo modelo no-contextual que satisface las hipótesis del teorema.

Cota no-contextual para la fidelidad global promedio en clonación estado-dependiente

Teorema

En todo modelo ontológico no-contextual que reproduzca

- 1 $p(M_k|P_k) = 1, \quad p(M_k|P_{k^\perp}) = 0, \quad s = a, b, aa, bb, \alpha, \beta$
- 2 $\frac{1}{2}P_s + \frac{1}{2}P_{s^\perp} \simeq \frac{1}{2}P_{s'} + \frac{1}{2}P_{s'^\perp}$ para todo (s, s') en $\{(a, b), (\alpha, aa), (\beta, bb)\}$,

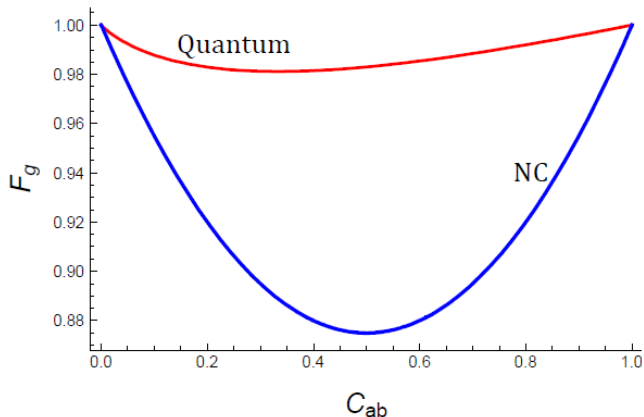
se tiene que

$$F_g \leq F_g^{\text{NC}} := 1 - \frac{c_{ab}}{2} + \frac{c_{aa,bb}}{2}$$

Ingredientes de la prueba:

- Lema: $\|\mu_a - \mu_b\| = 2(1 - c_{ab})$ para todo modelo no-contextual que satisface las hipótesis del teorema.
- $\|\cdot\|$ no-creciente bajo mapas estocásticos.

Performance cuántica vs no-contextual



$$F_g^Q(c_{ab}) = \frac{1}{4} \left[\sqrt{(1+c_{ab})(1+\sqrt{c_{ab}})} + \sqrt{(1-c_{ab})(1-\sqrt{c_{ab}})} \right]^2$$

(en rojo)

$$F_g^{NC}(c_{ab}) = 1 - c_{ab}/2 + c_{ab}^2/2$$

(en azul)

Saturación de la cota

El siguiente modelo no-contextual satura la cota a F_g :

- 1 Sea $S_s = \text{supp}(\mu_s)$.

Saturación de la cota

El siguiente modelo no-contextual satura la cota a F_g :

- 1 Sea $S_s = \text{supp}(\mu_s)$.
- 2 Sea $\mu_{ss} = \mu_s \mu_s$ y $\xi_s(\lambda) = 1$ si $\lambda \in S_s$ y 0 en caso contrario.

Saturación de la cota

El siguiente modelo no-contextual satura la cota a F_g :

- 1 Sea $S_s = \text{supp}(\mu_s)$.
- 2 Sea $\mu_{ss} = \mu_s \mu_s$ y $\xi_s(\lambda) = 1$ si $\lambda \in S_s$ y 0 en caso contrario.
- 3 Consideremos la siguiente transformación $\lambda_i \rightarrow \lambda_o$ para clonación:

Saturación de la cota

El siguiente modelo no-contextual satura la cota a F_g :

- 1 Sea $S_s = \text{supp}(\mu_s)$.
- 2 Sea $\mu_{ss} = \mu_s \mu_s$ y $\xi_s(\lambda) = 1$ si $\lambda \in S_s$ y 0 en caso contrario.
- 3 Consideremos la siguiente transformación $\lambda_i \rightarrow \lambda_o$ para clonación:
 - Si la entrada λ_i está en $S_a \setminus S_b$, $\lambda_o = (\lambda_i, \lambda')$ con λ' sampleada de μ_a ; sino, $\lambda_o = (\lambda_i, \lambda')$ con λ' sampleada de μ_b .

Saturación de la cota

El siguiente modelo no-contextual satura la cota a F_g :

- 1 Sea $S_s = \text{supp}(\mu_s)$.
- 2 Sea $\mu_{ss} = \mu_s \mu_s$ y $\xi_s(\lambda) = 1$ si $\lambda \in S_s$ y 0 en caso contrario.
- 3 Consideremos la siguiente transformación $\lambda_i \rightarrow \lambda_o$ para clonación:
 - Si la entrada λ_i está en $S_a \setminus S_b$, $\lambda_o = (\lambda_i, \lambda')$ con λ' sampleada de μ_a ; sino, $\lambda_o = (\lambda_i, \lambda')$ con λ' sampleada de μ_b .
- 4 Notar que $\mu_\beta = \mu_b \mu_b$ y, por lo tanto, $c_{\beta bb} = 1$.

Saturación de la cota

El siguiente modelo no-contextual satura la cota a F_g :

- 1 Sea $S_s = \text{supp}(\mu_s)$.
- 2 Sea $\mu_{ss} = \mu_s \mu_s$ y $\xi_s(\lambda) = 1$ si $\lambda \in S_s$ y 0 en caso contrario.
- 3 Consideremos la siguiente transformación $\lambda_i \rightarrow \lambda_o$ para clonación:
 - Si la entrada λ_i está en $S_a \setminus S_b$, $\lambda_o = (\lambda_i, \lambda')$ con λ' sampleada de μ_a ; sino, $\lambda_o = (\lambda_i, \lambda')$ con λ' sampleada de μ_b .
- 4 Notar que $\mu_\beta = \mu_b \mu_b$ y, por lo tanto, $c_{\beta bb} = 1$.
- 5 Por otro lado, $\mu_\alpha(\lambda, \lambda') = \mu_a(\lambda) \mu_a(\lambda')$ para $\lambda \in S_a \setminus S_b$ y $\mu_\alpha(\lambda, \lambda') = \mu_a(\lambda) \mu_b(\lambda')$ para $\lambda \in S_a \cap S_b$.

Saturación de la cota

El siguiente modelo no-contextual satura la cota a F_g :

- 1 Sea $S_s = \text{supp}(\mu_s)$.
- 2 Sea $\mu_{ss} = \mu_s \mu_s$ y $\xi_s(\lambda) = 1$ si $\lambda \in S_s$ y 0 en caso contrario.
- 3 Consideremos la siguiente transformación $\lambda_i \rightarrow \lambda_o$ para clonación:
 - Si la entrada λ_i está en $S_a \setminus S_b$, $\lambda_o = (\lambda_i, \lambda')$ con λ' sampleada de μ_a ; sino, $\lambda_o = (\lambda_i, \lambda')$ con λ' sampleada de μ_b .
- 4 Notar que $\mu_\beta = \mu_b \mu_b$ y, por lo tanto, $c_{\beta bb} = 1$.
- 5 Por otro lado, $\mu_\alpha(\lambda, \lambda') = \mu_a(\lambda) \mu_a(\lambda')$ para $\lambda \in S_a \setminus S_b$ y $\mu_\alpha(\lambda, \lambda') = \mu_a(\lambda) \mu_b(\lambda')$ para $\lambda \in S_a \cap S_b$.
- 6 Finalmente,

$$F_g = \frac{1}{2}[c_{\alpha aa} + c_{\beta bb}] = \frac{1}{2}[1 - c_{ab} + c_{ab}^2] + \frac{1}{2} = F_g^{NC}.$$

Versión resistente a ruido

Cota no-contextual para la fidelidad global promedio en clonación estado-dependiente (caso no ideal)

Theorem

En todo modelo ontológico no-contextual que reproduzca

- 1 $p(M_k|P_k) \geq 1 - \epsilon, \quad p(M_k|P_{k^\perp}) \leq \epsilon, \quad s = a, b, aa, bb, \alpha, \beta$
- 2 $\frac{1}{2}P_s + \frac{1}{2}P_{s^\perp} \simeq \frac{1}{2}P_{s'} + \frac{1}{2}P_{s'^\perp}$ para todo (s, s') en $\{(a, b), (\alpha, aa), (\beta, bb)\}$,

se tiene que

$$F_g \leq F_g^{\text{NC}} := 1 - \frac{c_{ab}}{2} + \frac{c_{aa,bb}}{2} + 8\epsilon$$

Cota no-contextual para la fidelidad global promedio en clonación estado-dependiente (caso no ideal)

Theorem

En todo modelo ontológico no-contextual que reproduzca

- 1 $p(M_k|P_k) \geq 1 - \epsilon$, $p(M_k|P_{k^\perp}) \leq \epsilon$, $s = a, b, aa, bb, \alpha, \beta$
- 2 $\frac{1}{2}P_s + \frac{1}{2}P_{s^\perp} \simeq \frac{1}{2}P_{s'} + \frac{1}{2}P_{s'^\perp}$ para todo (s, s') en $\{(a, b), (\alpha, aa), (\beta, bb)\}$,

se tiene que

$$F_g \leq F_g^{\text{NC}} := 1 - \frac{c_{ab}}{2} + \frac{c_{aa,bb}}{2} + 8\epsilon$$

Más aún, si, adicionalmente, $c_{ss'} = c_{s's}$ para todo (s, s') in $\{(a, b), (\alpha, aa), (\beta, bb)\}$ entonces

$$F_g \leq F_g^{\text{NC}} := 1 - \frac{c_{ab}}{2} + \frac{c_{aa,bb}}{2} + 2\epsilon$$

Tolerancia a ruido depolarizante

Consideramos el caso en que los estados, las mediciones, y la unitaria óptima para clonación pasan por un canal depolarizante \mathcal{N}_v con parámetro v :

$$\mathcal{N}_v(\rho) = (1 - v) \rho + v\mathbb{I}/4.$$

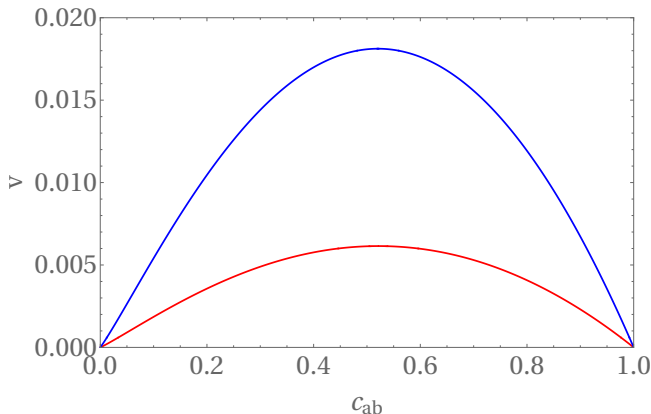


Figura: Máx. valor de v hay una violación de la cota no contextual, como función de c_{ab} (con y sin la hipótesis de simetría $c_{ab} = c_{ba}$).

Relación general entre ℓ_1 y $c_{s,s'}$ en modelos no-contextuales

Principal ingrediente de la prueba de la cota resistente a ruido:

Lema

Sean $P_s, P_{s'}$ be preparations. Supongamos que existen preparaciones $P_{s^\perp}, P_{s'^\perp}$ y mediciones binarias M_s tales que

- 1 $\frac{1}{2}P_s + \frac{1}{2}P_{s^\perp} \simeq \frac{1}{2}P_{s'} + \frac{1}{2}P_{s'^\perp},$
- 2 $p(M_k|P_k) \geq 1 - \epsilon, \quad p(M_k|P_{k^\perp}) \leq \epsilon, \quad k = s, s'.$

Entonces, en todo modelo no contextual,

$$2(1 - c_{ss'}) - 8\epsilon \leq \|\mu_s - \mu_{s'}\| \leq 2(1 - c_{ss'}) + 8\epsilon.$$

Más aún, si $c_{ss'} = c_{s's},$ entonces

$$2(1 - c_{ss'}) - 2\epsilon \leq \|\mu_s - \mu_{s'}\| \leq 2(1 - c_{ss'}) + 2\epsilon.$$

Suposiciones restantes

- Equivalencias operacionales perfectas.

Suposiciones restantes

- Equivalencias operacionales perfectas.
 - Encontrar preparaciones secundarias en la cápsula convexa del conjunto de preparaciones experimentales (o, primarias)

Suposiciones restantes

- Equivalencias operacionales perfectas.
 - Encontrar preparaciones secundarias en la cápsula convexa del conjunto de preparaciones experimentales (o, primarias)
- Conjunto tomográficamente completo de mediciones.

Suposiciones restantes

- Equivalencias operacionales perfectas.
 - Encontrar preparaciones secundarias en la cápsula convexa del conjunto de preparaciones experimentales (o, primarias)
- Conjunto tomográficamente completo de mediciones.
 - Se puede evitar si tenemos una cota a la cantidad de mediciones extra desconocidas (ver Pusey et al. arXiv:1904.08699)

Conclusiones y trabajo futuro

- Mostramos que la contextualidad provee una ventaja para la tarea de clonación cuántica estado-dependiente.

arXiv:1905.08291

Conclusiones y trabajo futuro

- Mostramos que la contextualidad provee una ventaja para la tarea de clonación cuántica estado-dependiente.
- Más aún, pudimos probar una versión resistente a ruido de la cota no-contextual que para niveles de ruido experimental suficientemente bajos (aunque a la altura de experimentos actuales) es violada por la mecánica cuántica.

arXiv:1905.08291

Conclusiones y trabajo futuro

- Mostramos que la contextualidad provee una ventaja para la tarea de clonación cuántica estado-dependiente.
- Más aún, pudimos probar una versión resistente a ruido de la cota no-contextual que para niveles de ruido experimental suficientemente bajos (aunque a la altura de experimentos actuales) es violada por la mecánica cuántica.
- Creemos que el lema en la slide precedente puede ser útil para probar ventaja cuántica en otras primitivas de información cuántica.

arXiv:1905.08291

Conclusiones y trabajo futuro

- Mostramos que la contextualidad provee una ventaja para la tarea de clonación cuántica estado-dependiente.
- Más aún, pudimos probar una versión resistente a ruido de la cota no-contextual que para niveles de ruido experimental suficientemente bajos (aunque a la altura de experimentos actuales) es violada por la mecánica cuántica.
- Creemos que el lema en la slide precedente puede ser útil para probar ventaja cuántica en otras primitivas de información cuántica.
 - Por ejemplo, permite una demo alternativa del resultado de ventaja contextual para discriminación de estados cuánticos provada (usando eliminación de Fourier-Motzkin) en⁵.

arXiv:1905.08291

⁵David Schmid y Robert W Spekkens. "Contextual advantage for state discrimination". En: *Physical Review X* 8.1 (2018), pág. 011015.

Conclusiones y trabajo futuro

- Mostramos que la contextualidad provee una ventaja para la tarea de clonación cuántica estado-dependiente.
- Más aún, pudimos probar una versión resistente a ruido de la cota no-contextual que para niveles de ruido experimental suficientemente bajos (aunque a la altura de experimentos actuales) es violada por la mecánica cuántica.
- Creemos que el lema en la slide precedente puede ser útil para probar ventaja cuántica en otras primitivas de información cuántica.
 - Por ejemplo, permite una demo alternativa del resultado de ventaja contextual para discriminación de estados cuánticos provada (usando eliminación de Fourier-Motzkin) en⁵.
- Trabajo futuro: estudiar los casos de clonación universal y phase-covariant, y la clonación probabilística.

arXiv:1905.08291

⁵David Schmid y Robert W Spekkens. "Contextual advantage for state discrimination". En: *Physical Review X* 8.1 (2018), pág. 011015.