

# Tests de Nueva Física con leptones y quarks ligeros

**Pablo Roig**  
**Cinvestav** (CDMX)

Agosto de 2020

# Tests de Nueva Física con leptones y quarks ligeros

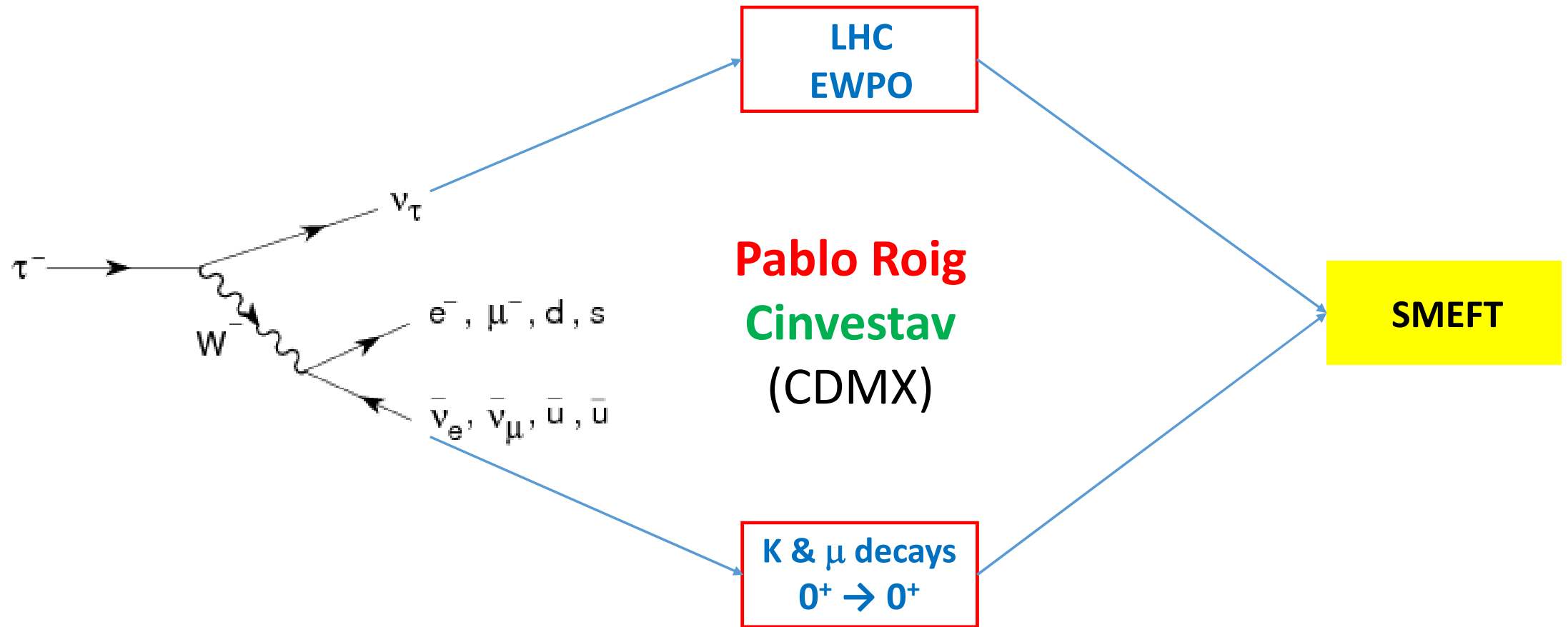
- Las anomalías en los momentos magnéticos de  $\mu$  y  $e$ 
  - Análisis EFT de desintegraciones  $\beta$ , de  $\pi$  y  $K$
- Tests de universalidad leptónica (diversos procesos)
- Violación de sabor o número leptónicos (diversos procesos)
- Parámetros de Michel en desintegraciones de muones y taus
- Análisis EFT de desintegraciones semileptónicas de taus

**Pablo Roig**

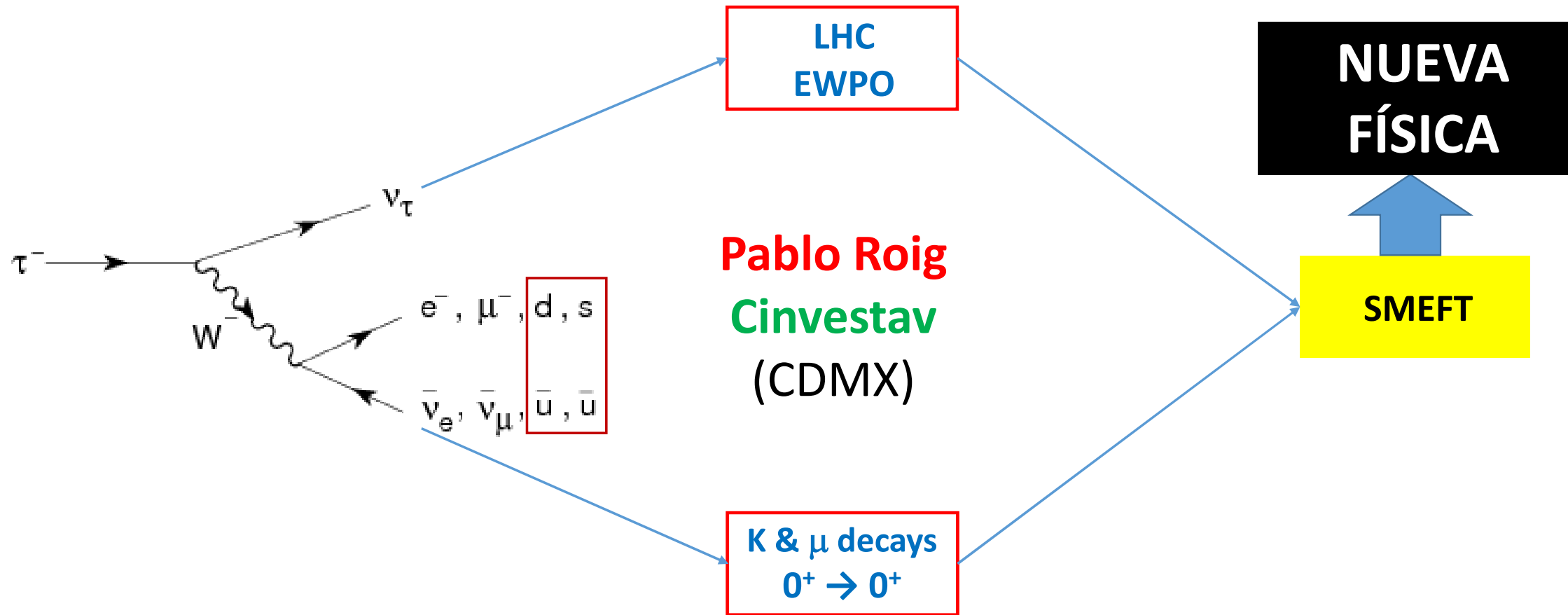
**Cinvestav** (CDMX)

Agosto de 2020

# SMEFT limits from tau decays



# SMEFT limits from tau decays



# BIBLIOGRAFÍA PRINCIPAL

## 1) Semileptonic decays of light quarks beyond the Standard Model

Vincenzo Cirigliano, J. Jenkins, Martín González-Alonso. Nucl.Phys.B 830 (2010) 95-115. e-Print: 0908.1754 [hep-ph].

## 2) Effective-field theory analysis of the $\tau \rightarrow \eta^{(\prime)}\pi \nu_\tau$ decays.

E.A. Garcés, M. Hernández Villanueva, G. López Castro, P. Roig. JHEP 12 (2017) 027. e-Print: 1708.07802 [hep-ph].

## 3) No go theorem for non-standard explanations of the $\tau \rightarrow K_S \pi \nu_\tau$ CP asymmetry.

V. Cirigliano, A. Crivellin, M. Hoferichter. Phys.Rev.Lett. 120 (2018) 14, 141803. e-Print: 1712.06595 [hep-ph].

## 4) Effective-field theory analysis of the $\tau \rightarrow \pi \pi^0 \nu_\tau$ decays.

J.A. Miranda, P. Roig. JHEP 11 (2018) 038. e-Print: 1806.09547 [hep-ph].

## 5) Hadronic $\tau$ Decays as New Physics Probes in the LHC Era.

Vincenzo Cirigliano, Adam Falkowski, Martín González-Alonso, Antonio Rodríguez-Sánchez. Phys.Rev.Lett. 122 (2019) 22, 221801. e-Print: 1809.01161 [hep-ph].

## 6) Effective-field theory analysis of the $\tau \rightarrow (K\pi) \nu_\tau$ decays.

Javier Rendón, Pablo Roig, Genaro Toledo Sánchez. Phys.Rev.D 99 (2019) 9, 093005. e-Print: 1902.08143 [hep-ph].

## 7) Effective-field theory analysis of the $\tau \rightarrow K (\eta^{(\prime)}, K^0) \nu_\tau$ decays.

Sergi González-Solís, J. A. Miranda, J. Rendón, P. Roig. Phys.Rev.D 101 (2020) 3, 034010. e-Print: 1911.08341 [hep-ph].

## 8) **Exclusive** hadronic tau decays as probes of non-SM interactions.

Sergi González-Solís, J. A. Miranda, J. Rendón, P. Roig. Phys. Lett. B 804 (2020) 135371. e-Print: 1912.08725 [hep-ph].

# FACTORES DE FORMA

1) Dispersive representation of the pion vector form factor in  $\tau \rightarrow \pi\pi v_\tau$  decays

D. Gómez Dumm, P. Roig. Eur.Phys.J.C 73 (2013) 8, 2528. e-Print: 1301.6973 [hep-ph].

2)  $\tau \rightarrow K \eta^{(\prime)} v_\tau$  decays in Chiral Perturbation Theory with Resonances

R. Escribano, S. Gonzalez-Solis, P. Roig. JHEP 10 (2013) 039. e-Print: 1307.7908 [hep-ph].

3) Combined analysis of the decays  $\tau \rightarrow K_S \pi v_\tau$  and  $\tau \rightarrow K \eta v_\tau$

R. Escribano, S. González-Solís, M. Jamin, P. Roig. JHEP 09 (2014) 042. e-Print: 1407.6590 [hep-ph].

4) Predictions on the second-class current decays  $\tau \rightarrow \pi \eta^{(\prime)} v_\tau$

Rafel Escribano, Sergi Gonzalez-Solis, Pablo Roig. Phys.Rev.D 94 (2016) 3, 034008. e-Print: 1601.03989 [hep-ph].

5) A dispersive analysis of the pion vector form factor and  $\tau \rightarrow K K_S v_\tau$  decay

Sergi González-Solís, Pablo Roig. Eur.Phys.J.C 79 (2019) 5, 436. e-Print: 1902.02273 [hep-ph].

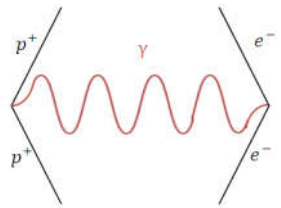
# CONTENIDOS

## INTRODUCCIÓN

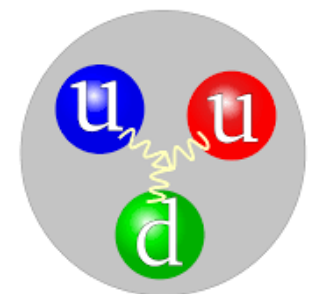
## APLICACIÓN DE SMEFT A DESINTEGRACIONES DE TAUS

## CONCLUSIONES

# INTRODUCCIÓN

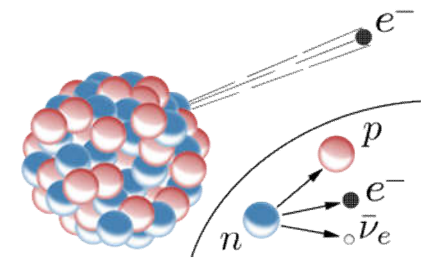
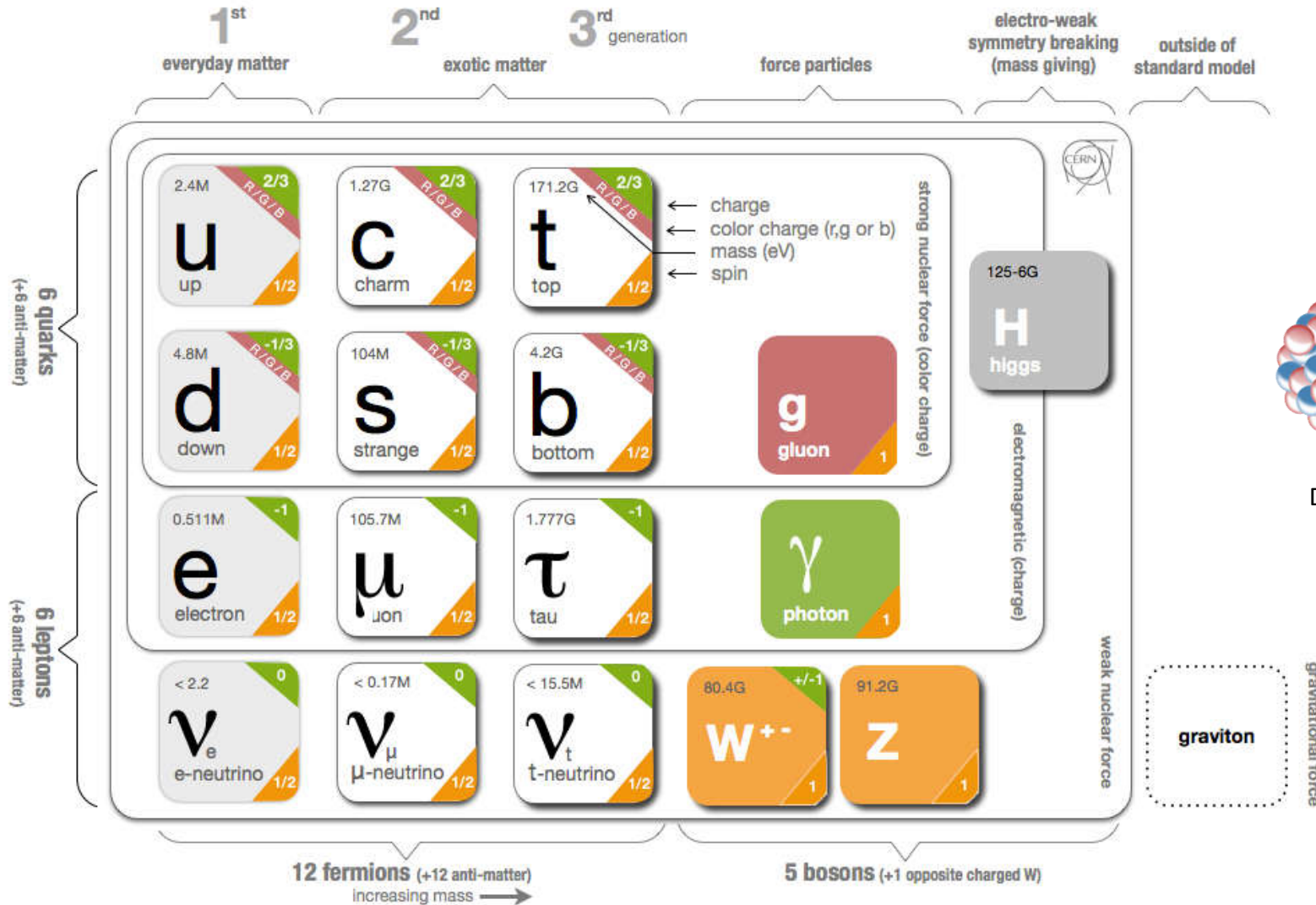


Interacción electromagnética en el átomo de H



Protón compuesto de quarks ligados por intercambio de gluones

SMEFT limits from tau decays



Desintegración  $\beta$  nuclear

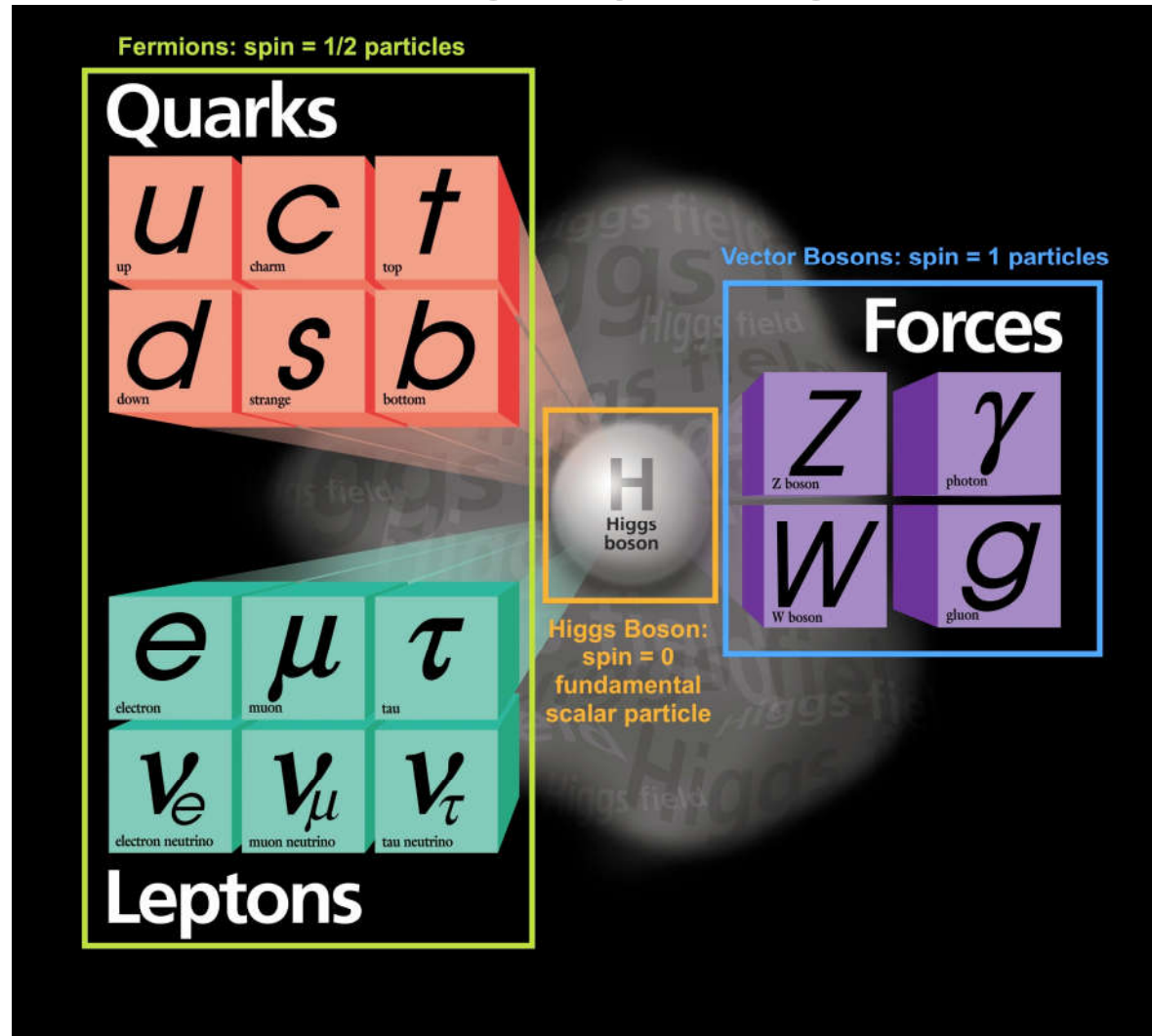
Pablo Roig (Cinvestav)



# INTRODUCCIÓN

## EL MODELO ESTÁNDAR DE FÍSICA DE PARTÍCULAS:

Una teoría de norma local



$$\begin{aligned} &SU(3)_C \\ &\times \\ &SU(2)_L \\ &\times \\ &U(1)_Y \\ &\Downarrow \\ &SU(3)_C \\ &\times \\ &U(1)_{em} \end{aligned}$$

# INTRODUCCIÓN

$$\mathcal{L}_0 = i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \partial_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x)$$

Es invariante U(1) global

$$\psi(x) \xrightarrow{U(1)} \psi'(x) \equiv \exp \{iQ\theta\} \psi(x)$$

Pero no local...

**Ejemplo:**  
**U(1)<sub>em</sub>**

**EL MODELO  
ESTÁNDAR  
DE FÍSICA DE  
PARTÍCULAS:**  
**Una teoría  
de norma  
local**

# INTRODUCCIÓN

$$\mathcal{L}_0 = i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \partial_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x)$$

Es invariante U(1) global

$$\psi(x) \xrightarrow{U(1)} \psi'(x) \equiv \exp \{iQ\theta\} \psi(x)$$

Pero no local...

El ppo. de invariancia de norma exige que U(1) local deba ser simetría

**Ejemplo:**  
**U(1)<sub>em</sub>**

**EL MODELO  
ESTÁNDAR  
DE FÍSICA DE  
PARTÍCULAS:**

**Una teoría  
de norma  
local**

# INTRODUCCIÓN

$$\mathcal{L}_0 = i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \partial_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x)$$

Es invariante U(1) global

$$\psi(x) \xrightarrow{U(1)} \psi'(x) \equiv \exp \{iQ\theta\} \psi(x)$$

Pero no local...

**El ppo. de invariancia de norma exige que U(1) local deba ser simetría**

**Solución:** Añadir un campo vectorial cuya transformación cancele la parte no invariante

**Ejemplo:  
U(1)<sub>em</sub>**

**EL MODELO  
ESTÁNDAR  
DE FÍSICA DE  
PARTÍCULAS:**

**Una teoría  
de norma  
local**

# INTRODUCCIÓN

**Ejemplo:**  
**U(1)<sub>em</sub>**

**EL MODELO  
ESTÁNDAR  
DE FÍSICA DE  
PARTÍCULAS:  
Una teoría  
de norma  
local**

$$\mathcal{L}_0 = i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \partial_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x)$$

Es invariante U(1) global

$$\psi(x) \xrightarrow{U(1)} \psi'(x) \equiv \exp \{iQ\theta\} \psi(x)$$

Pero no local...

**El ppo. de invariancia de norma exige que U(1) local deba ser simetría**

**Solución:** Añadir un campo vectorial cuya transformación cancele la parte no invariante

$$A_\mu(x) \xrightarrow{U(1)} A'_\mu(x) \equiv A_\mu(x) - \frac{1}{e} \partial_\mu \theta$$

Todo se ve más simple introduciendo la **derivada covariante**

$$D_\mu \psi(x) \equiv [\partial_\mu + ieQ A_\mu(x)] \psi(x), \quad D_\mu \psi(x) \xrightarrow{U(1)} (D_\mu \psi)'(x) \equiv \exp \{iQ\theta\} D_\mu \psi(x)$$

# INTRODUCCIÓN

**Ejemplo:**  
**U(1)<sub>em</sub>**

$$\mathcal{L}_0 = i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \partial_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x)$$

Es invariante U(1) global

Pero no local...

El ppo. de invariancia de norma exige que U(1) local deba ser simetría

**Solución:** Añadir un campo vectorial cuya transformación cancele la parte no invariante

$$A_\mu(x) \xrightarrow{U(1)} A'_\mu(x) \equiv A_\mu(x) - \frac{1}{e} \partial_\mu \theta$$

Todo se ve más simple introduciendo la **derivada covariante**

$$D_\mu \psi(x) \equiv [\partial_\mu + ieQ A_\mu(x)] \psi(x),$$

$$D_\mu \psi(x) \xrightarrow{U(1)} (D_\mu \psi)'(x) \equiv \exp\{iQ\theta\} D_\mu \psi(x)$$

$$\mathcal{L} \equiv i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu D_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x) = \mathcal{L}_0 - eQ A_\mu(x) \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \psi(x)$$

**ES INVARIANTE U(1) LOCAL**

**EL MODELO  
ESTÁNDAR  
DE FÍSICA DE  
PARTÍCULAS:**

**Una teoría  
de norma  
local**

# INTRODUCCIÓN

**Ejemplo:**  
**U(1)<sub>em</sub>**

$$\mathcal{L}_0 = i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \partial_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x)$$

Es invariante U(1) global, pero no local...

El ppo. de invariancia de norma exige que U(1) local deba ser simetría

$$\mathcal{L} \equiv i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu D_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x) = \mathcal{L}_0 - eQ A_\mu(x) \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \psi(x)$$

**ES INVARIANTE U(1) LOCAL**

**EL MODELO  
ESTÁNDAR  
DE FÍSICA DE  
PARTÍCULAS:**  
**Una teoría  
de norma  
local**

# INTRODUCCIÓN

**Ejemplo:**  
**U(1)<sub>em</sub>**

$$\mathcal{L}_0 = i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \partial_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x)$$

Es invariante U(1) global, pero no local...

El ppo. de invariancia de norma exige que U(1) local deba ser simetría

$$\mathcal{L} \equiv i \bar{\psi}(x) \gamma^\mu D_\mu \psi(x) - m \bar{\psi}(x) \psi(x) = \mathcal{L}_0 - eQ A_\mu(x) \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \psi(x)$$

**ES INVARIANTE U(1) LOCAL**



- La interacción predicha coincide con lo observado (acoplamiento mínimo).
- El fotón NO puede tener masa.



**EL MODELO ESTÁNDAR DE FÍSICA DE PARTÍCULAS:**

**Una teoría de norma local**

$$\mathcal{L}_{\text{Kin}} \equiv -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}(x) F^{\mu\nu}(x)$$



$$\mathcal{L}_m = \frac{1}{2} m^2 A^\mu A_\mu$$



SMEFT limits from tau decays

Pablo Roig

Cinvestav (CDMX)

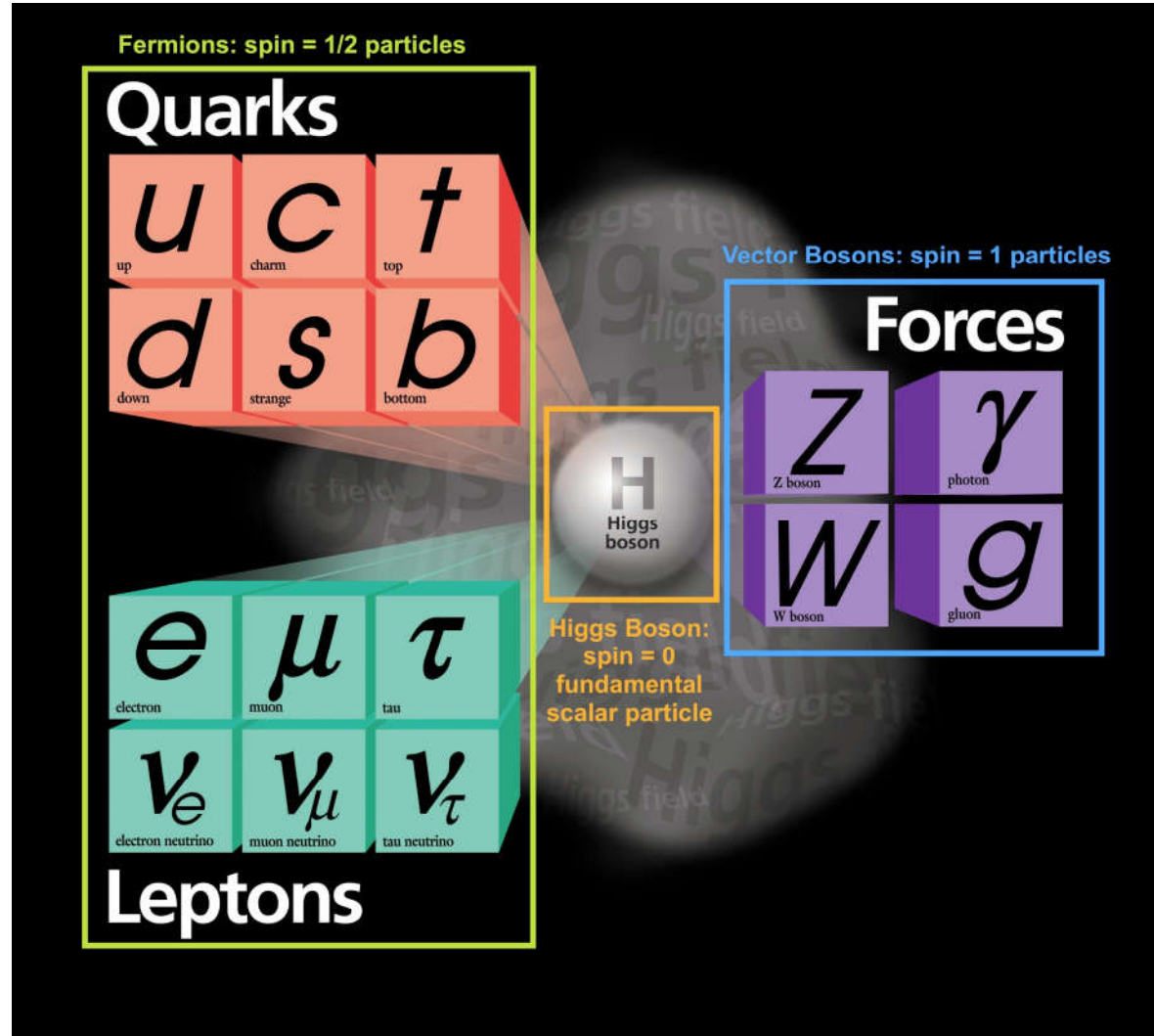


El SM también presenta **simetrías globales accidentales:**  
conservación de L, L<sub>i</sub>, B.

# INTRODUCCIÓN

**EL MODELO ESTÁNDAR DE FÍSICA DE PARTÍCULAS:**

**Una teoría de norma local**



$$\begin{aligned} &SU(3)_C \\ &\times \\ &SU(2)_L \\ &\times \\ &U(1)_Y \\ &\downarrow \\ &SU(3)_C \\ &\times \\ &U(1)_{em} \end{aligned}$$

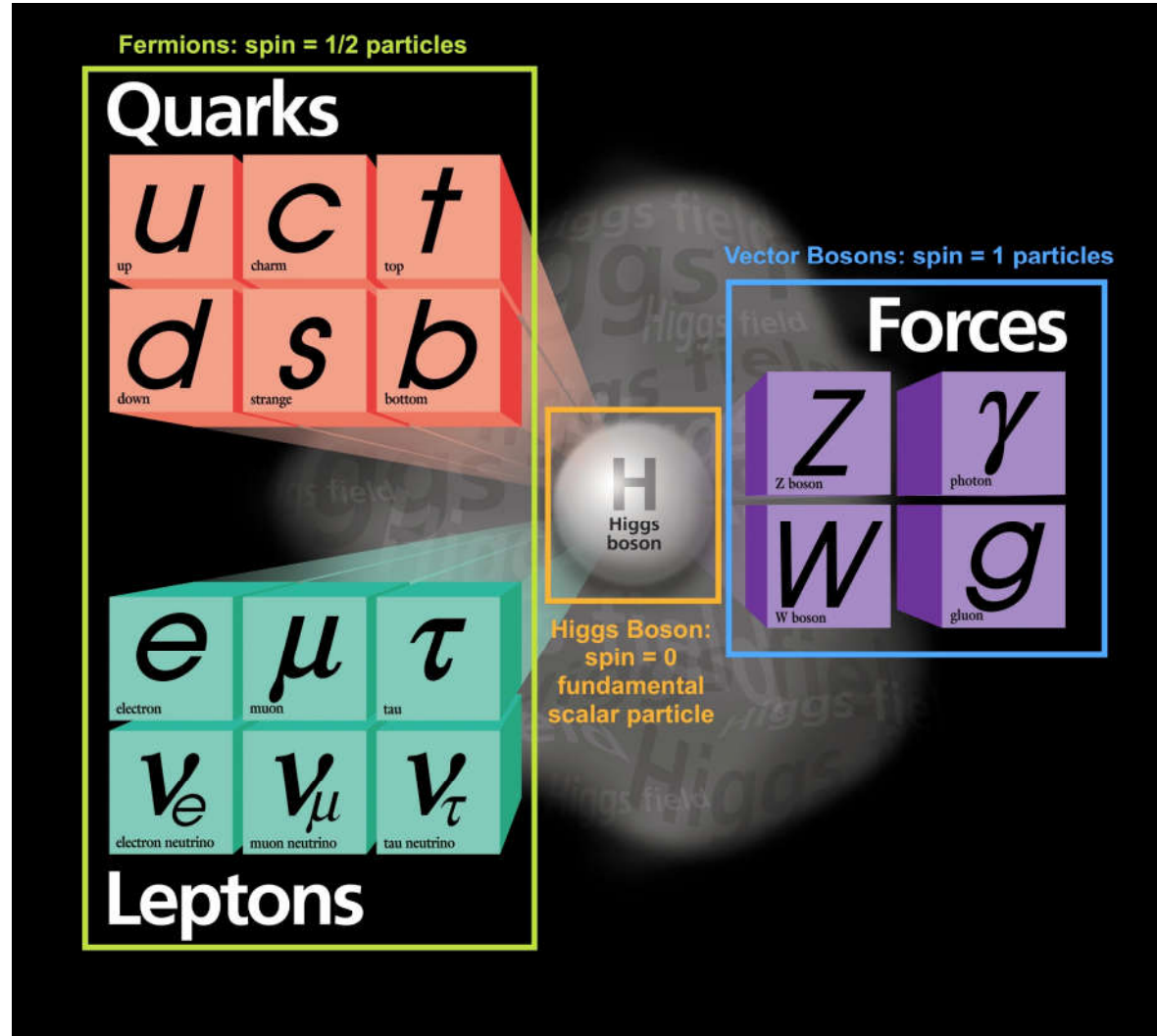
El SM también presenta **simetrías globales accidentales:**  
conservación de L, L<sub>i</sub>, B.

# INTRODUCCIÓN

**EL MODELO ESTÁNDAR DE FÍSICA DE PARTÍCULAS:**

**Una teoría de norma local**

Las interacciones predichas coinciden con lo observado



$$\begin{aligned}
 &SU(3)_C \\
 &\times \\
 &SU(2)_L \\
 &\times \\
 &U(1)_Y \\
 &\downarrow M_{W,Z} \\
 &SU(3)_C \\
 &\times \\
 &U(1)_{em}
 \end{aligned}$$

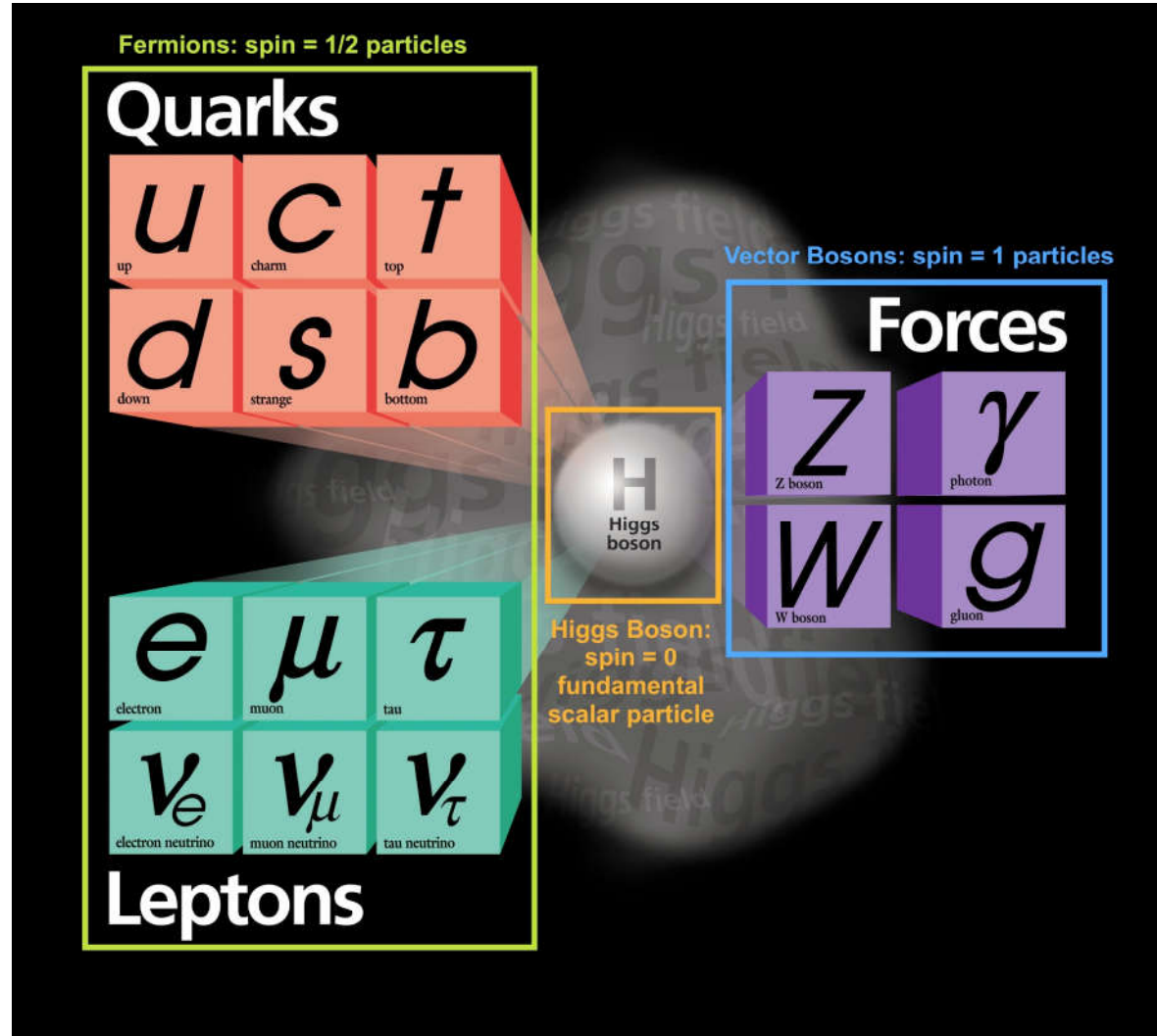
El SM también presenta **simetrías globales accidentales**:  
conservación de L, L<sub>i</sub>, B.

# INTRODUCCIÓN

## EL MODELO ESTÁNDAR DE FÍSICA DE PARTÍCULAS:

Una teoría de norma local

No hay una sola medida en el PDG en desacuerdo con la predicción del SM



$$\begin{aligned}
 &SU(3)_C \\
 &\times \\
 &SU(2)_L \\
 &\times \\
 &U(1)_Y \\
 &\downarrow M_{W,Z} \\
 &SU(3)_C \\
 &\times \\
 &U(1)_{em}
 \end{aligned}$$

SMEFT limits from tau decays

Pablo Roig

Cinvestav (CDMX)

# INTRODUCCIÓN

## Universality: Family-Independent Couplings

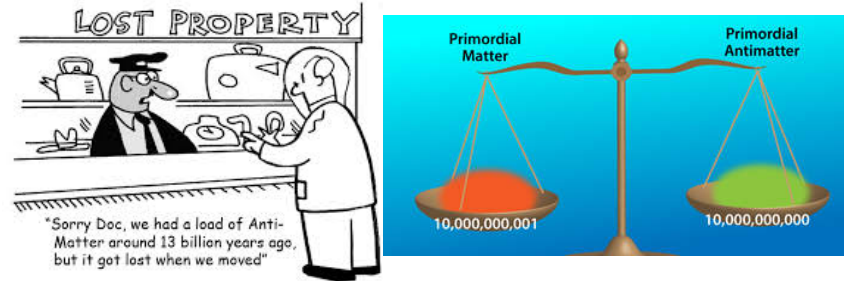


**Unitary if no extra matter**

# INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el SM presenta una serie de problemas que nos motivan a buscar la nueva física que lo extienda, resolviéndolos:

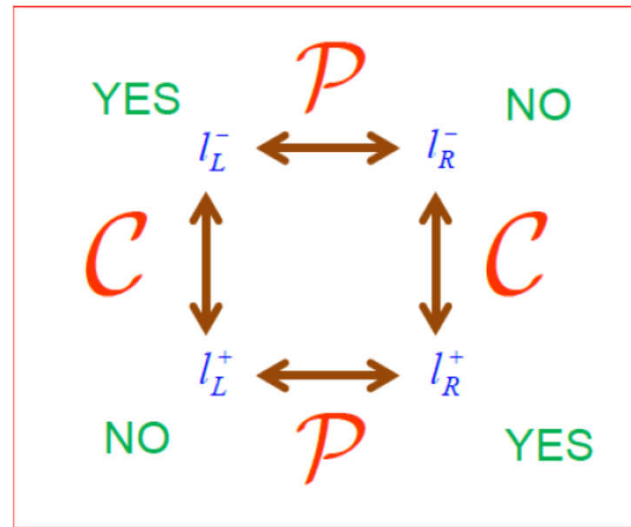
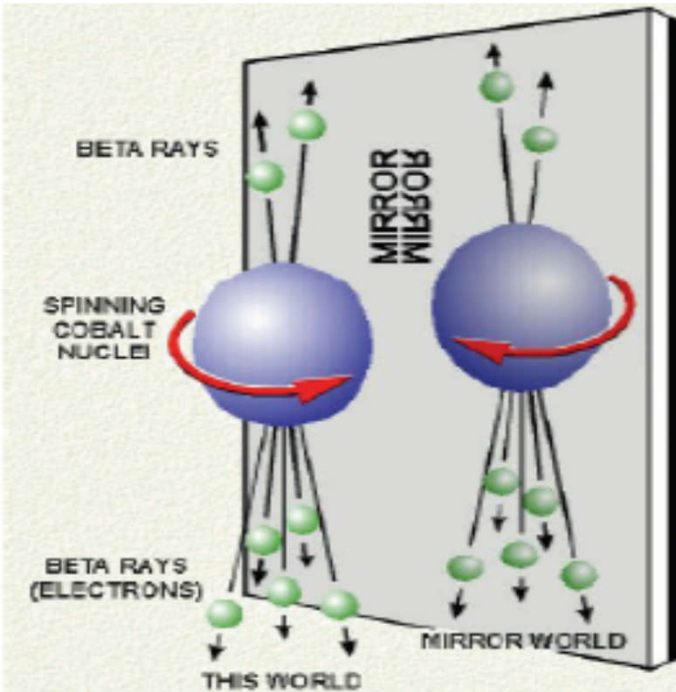
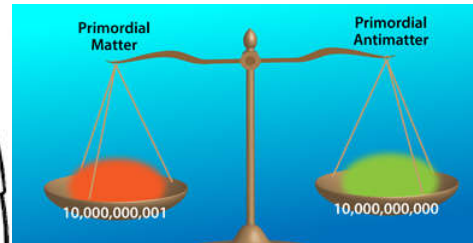
## Asimetría bariónica del Universo



# INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el SM presenta una serie de problemas que nos motivan a buscar la nueva física que lo extienda, resolviéndolos:

## Asimetría bariónica del Universo



¿Bariogénesis a través de leptogénesis?

SMEFT limits from tau decays

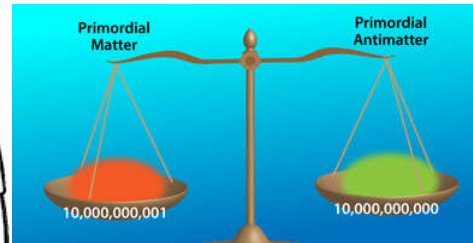
Pablo Roig

Cinvestav (CDMX)

# INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el SM presenta una serie de problemas que nos motivan a buscar la nueva física que lo extienda, resolviéndolos:

**Asimetría bariónica del Universo**



**Masas minúsculas de los neutrinos**



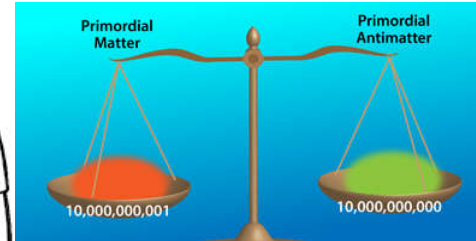
Si es su propia antipartícula

¿Bariogénesis a través de leptogénesis?

# INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el SM presenta una serie de problemas que nos motivan a buscar la nueva física que lo extienda, resolviéndolos:

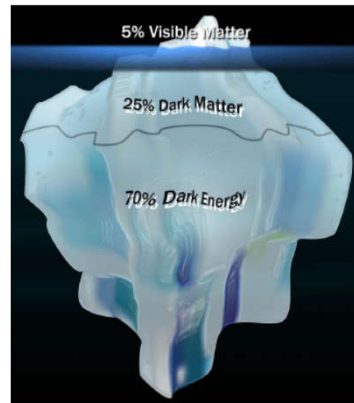
**Asimetría bariónica del Universo**



**Masas minúsculas de los neutrinos**



**Sector oscuro**



Pablo Roig

Cinvestav (CDMX)

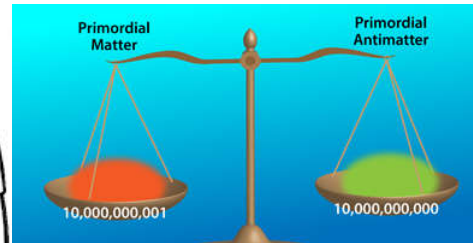
SMEFT limits from tau decays



# INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el SM presenta una serie de problemas que nos motivan a buscar la nueva física que lo extienda, resolviéndolos:

**Asimetría bariónica del Universo**



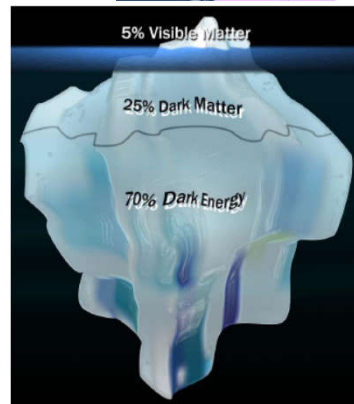
$$Q_p = -Q_e$$



**Masas minúsculas de los neutrinos**



**Sector oscuro**



Pablo Roig

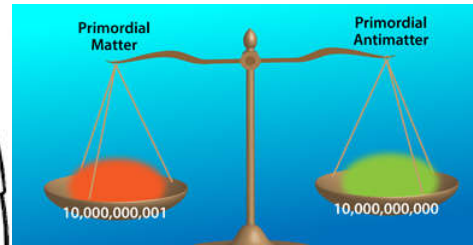
Cinvestav (CDMX)

SMEFT limits from tau decays

# INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el SM presenta una serie de problemas que nos motivan a buscar la nueva física que lo extienda, resolviéndolos:

**Asimetría bariónica del Universo**



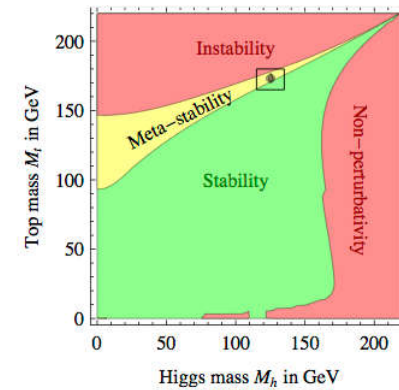
$Q_p = -Q_e$ ?



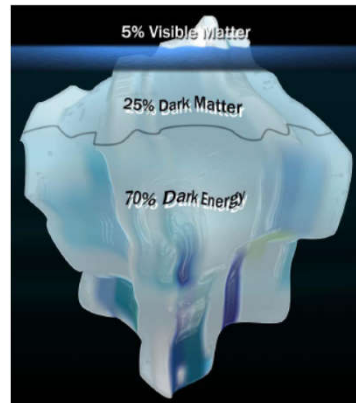
**Masas minúsculas de los neutrinos**



**Estabilidad del vacío**



**Sector oscuro**



Pablo Roig

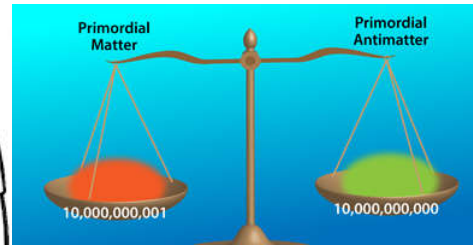
Cinvestav (CDMX)

SMEFT limits from tau decays

# INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el SM presenta una serie de problemas que nos motivan a buscar la nueva física que lo extienda, resolviéndolos:

**Asimetría bariónica del Universo**



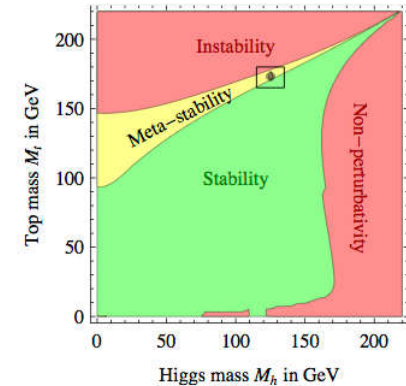
$$Q_p = -Q_e?$$



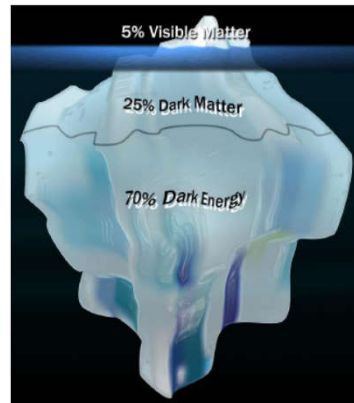
**Masas minúsculas de los neutrinos**



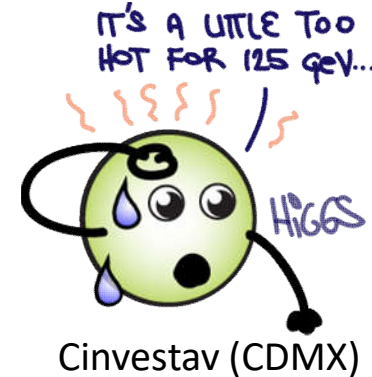
**Estabilidad del vacío**



**Sector oscuro**



**Estabilidad de  $M_H$**



SMEFT limits from tau decays

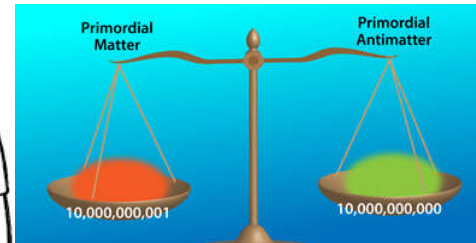
Pablo Roig

Cinvestav (CDMX)

# INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el SM presenta una serie de problemas que nos motivan a buscar la nueva física que lo extienda, resolviéndolos:

**Asimetría bariónica del Universo**



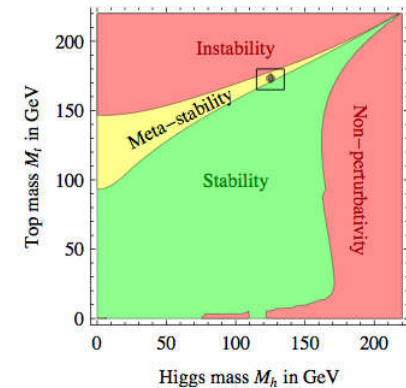
$Q_p = -Q_e$



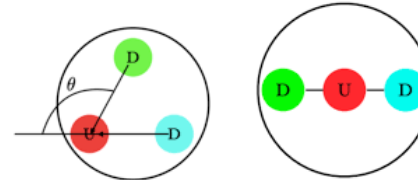
**Masas minúsculas de los neutrinos**



**Estabilidad del vacío**

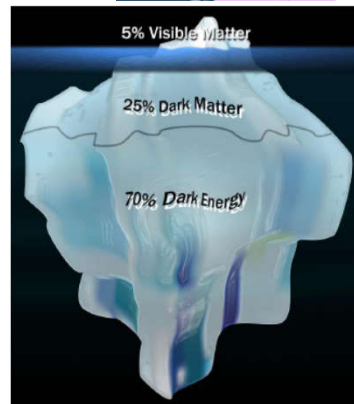


**Fase fuerte de CP**

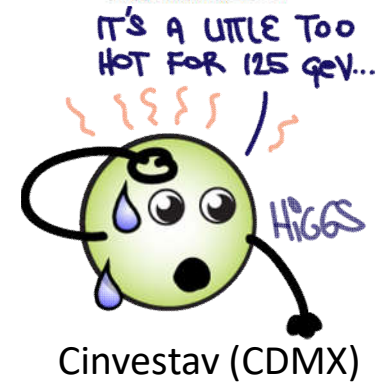


**Estabilidad de  $M_H$**

**Sector oscuro**



Pablo Roig



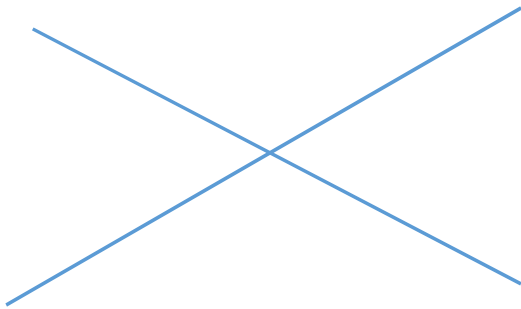
SMEFT limits from tau decays

# INTRODUCCIÓN

Las teorías efectivas cuánticas de campo son la herramienta sistemática para acceder a nueva física pesada analizando datos precisos a energías menores.

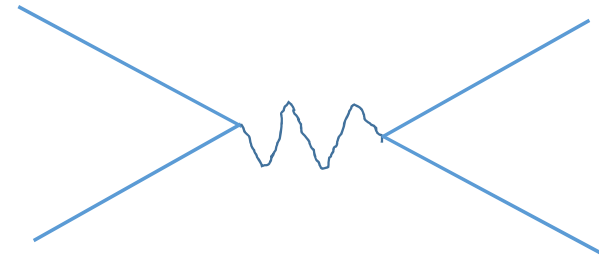
# INTRODUCCIÓN

Las teorías efectivas cuánticas de campo son la herramienta sistemática para acceder a nueva física pesada analizando datos precisos a energías menores.



Teoría efectiva

$$G_F/\sqrt{2}$$

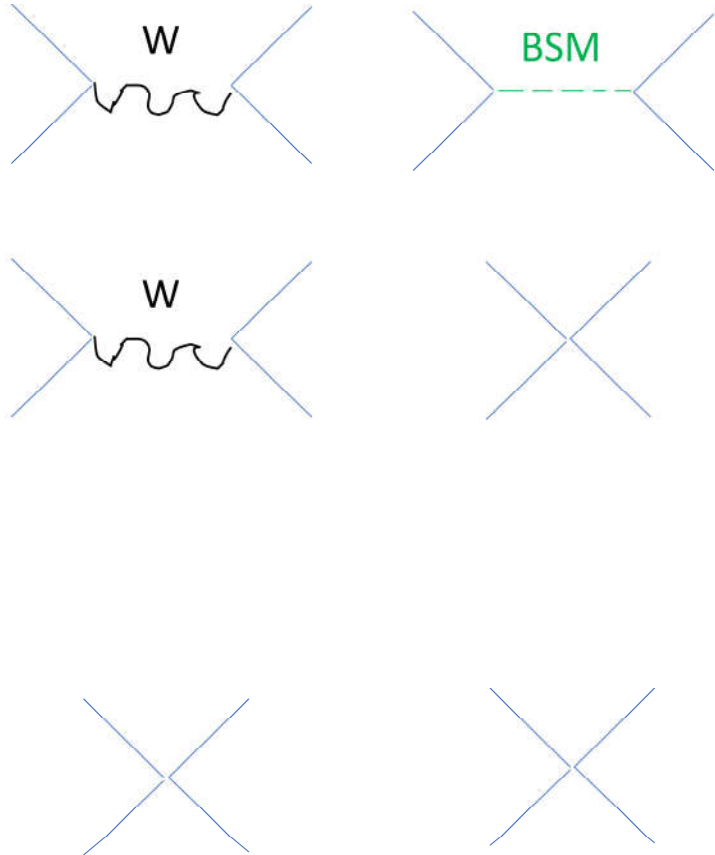


Teoría + fundamental

$$\frac{g/(2\sqrt{2}) \quad g/(2\sqrt{2})}{q^2 - M_W^2}$$

*Los acoplamientos de la teoría efectiva contienen información sobre las partículas pesadas (NUEVAS) y sus acoplamientos  
La teoría efectiva también contiene información sobre las simetrías de la teoría (+) fundamental*

# SMEFT



10 TeV

1 TeV

2 GeV

SM + BSM

D=4

(Buchmuller & Wyler '86,  
Grzadkowski et al. '10)

SMEFT

D=4+6+...

QCDxEW

$M_Z$

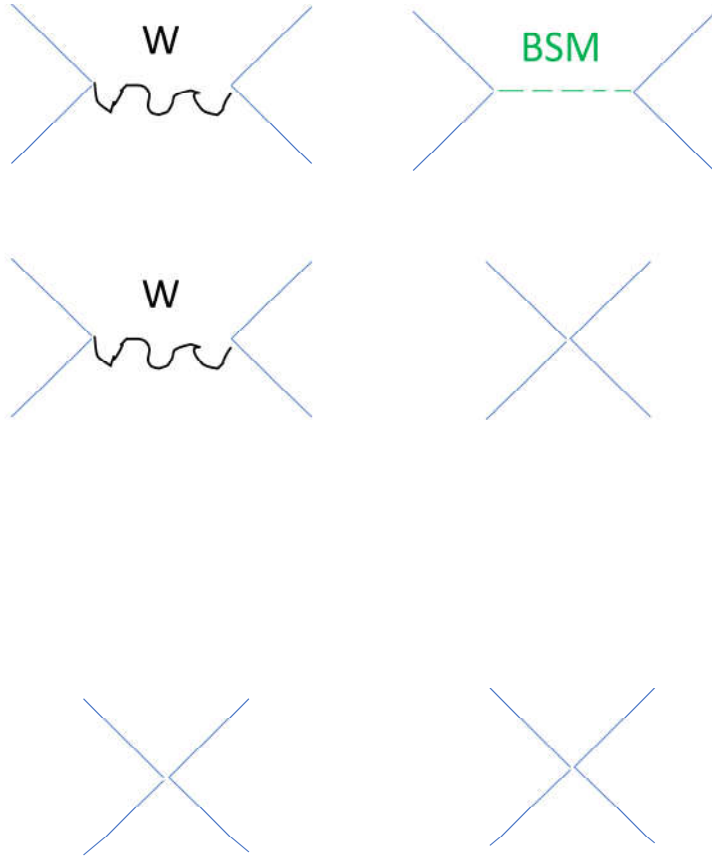
QCDxEW

RGE+matching @  $M_Z$   
(Alonso et al. '14; González-Alonso  
et al. 17+Cirigliano et al. '10)

Light fields

D=6+...

# SMEFT



10 TeV

SM + BSM

D=4

(Buchmuller & Wyler '86,  
Grzadkowski et al. '10)

1 TeV

SMEFT

D=4+6+...

QCDxEW

$$\mathcal{L}^{(eff)} = \mathcal{L}_{SM} + \frac{1}{\Lambda^2} \sum_i \alpha_i O_i$$

$M_Z$

RGE+matching @  $M_Z$

(Alonso et al. '14; González-Alonso  
et al. 17+Cirigliano et al. '10)

QCDxEW

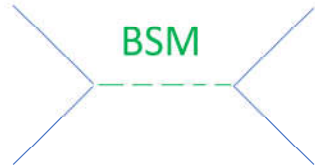
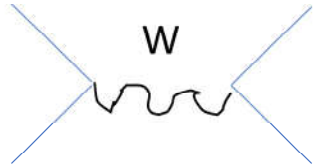
2 GeV

Light fields

D=6+...



# SMEFT

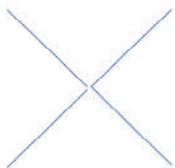
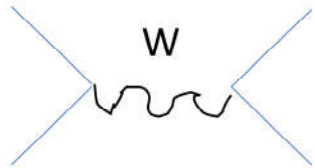


10 TeV

SM + BSM

D=4

(Buchmuller & Wyler '86,  
Grzadkowski et al. '10)



1 TeV

SMEFT

D=4+6+...

QCDxEW

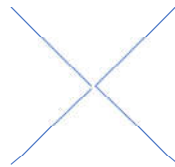
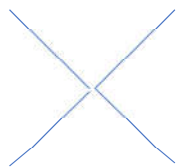
$$\mathcal{L}^{(eff)} = \mathcal{L}_{SM} + \frac{1}{\Lambda^2} \sum_i \alpha_i O_i$$

$M_Z$

RGE+matching @  $M_Z$

(Alonso et al. '14; González-Alonso  
et al. 17+Cirigliano et al. '10)

QCDxEM



2 GeV

Light fields

D=6+...

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{CC} = & -\frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{ud}(1 + \epsilon_L + \epsilon_R) \{ \bar{\tau} \gamma_\mu (1 - \gamma^5) \nu_\tau \bar{u} [\gamma^\mu - (1 - 2\hat{\epsilon}_R) \gamma^\mu \gamma^5] d \\ & + \bar{\tau} (1 - \gamma^5) \nu_\tau \bar{u} (\hat{\epsilon}_S - \hat{\epsilon}_P \gamma^5) d \\ & + 2\hat{\epsilon}_T \bar{\tau} \sigma_{\mu\nu} (1 - \gamma^5) \nu_\tau \bar{u} \sigma^{\mu\nu} d \} + h.c., \end{aligned}$$

Pablo Roig

Cinvestav (CDMX)

SMEFT limits from tau decays

# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de $\tau$ s

From  $\eta\pi$  channel:  $-0.83 \cdot 10^{-2} \leq \epsilon_S \leq 0.37 \cdot 10^{-2}$  (Garcés et al. '17)

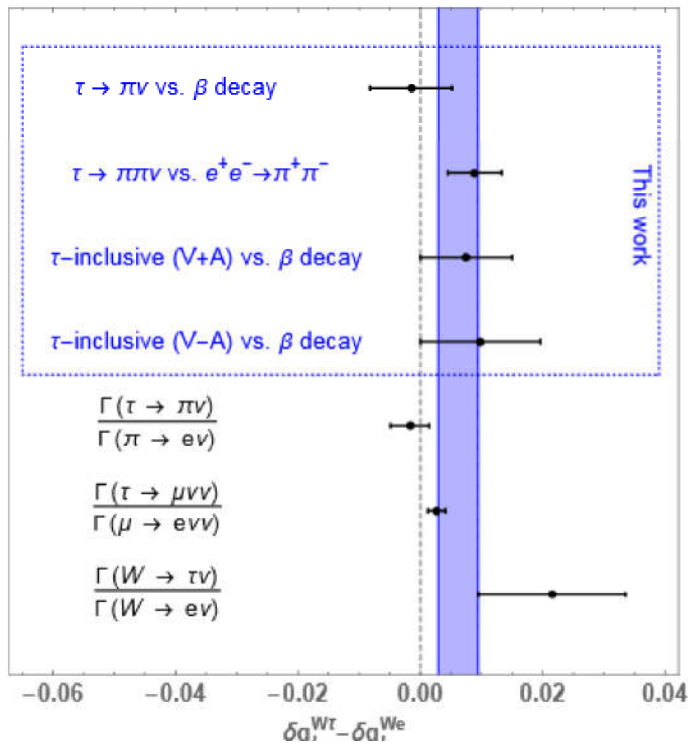
From  $\pi\pi$  channel:  $\hat{\epsilon}_T = (-1.3_{-2.2}^{+1.5}) \cdot 10^{-3}$  (Miranda & Roig '18)

*Nuestros análisis prueban universalidad leptónica*

Limits from Cirigliano et al. '18:



$$\begin{pmatrix} \epsilon_L^\tau - \epsilon_L^e + \epsilon_R^\tau - \epsilon_R^e \\ \epsilon_R^\tau \\ \epsilon_S^\tau \\ \epsilon_P^\tau \\ \epsilon_T^\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 \pm 1.1 \\ 0.2 \pm 1.3 \\ -0.6 \pm 1.5 \\ 0.5 \pm 1.2 \\ -0.04 \pm 0.46 \end{pmatrix} \cdot 10^{-2}$$



**SMEFT couplings**

Coefficient	ATLAS $\tau\nu$	$\tau$ decays	$\tau$ and $\pi$ decays
$[c_{\ell q}^{(3)}]_{\tau\tau 11}$	[0.0, 1.6]	[-12.6, 0.2]	[-7.6, 2.1]
$[c_{\ell equ}]_{\tau\tau 11}$	[-5.6, 5.6]	[-8.4, 4.1]	[-5.6, 2.3]
$[c_{\ell cdq}]_{\tau\tau 11}$	[-5.6, 5.6]	[-3.5, 9.0]	[-2.1, 5.8]
$[c_{\ell equ}^{(3)}]_{\tau\tau 11}$	[-3.3, 3.3]	[-10.4, -0.2]	[-8.6, 0.7]

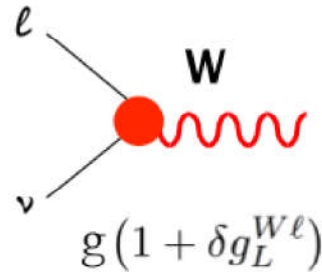


TABLE I. 95% CL intervals (in  $10^{-3}$  units) at  $\mu = 1$  TeV, assuming one Wilson coefficient is present at a time.

# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus

From  $\eta\pi$  channel:  $-0.83 \cdot 10^{-2} \leq \epsilon_S \leq 0.37 \cdot 10^{-2}$  (Garcés et al. '17)

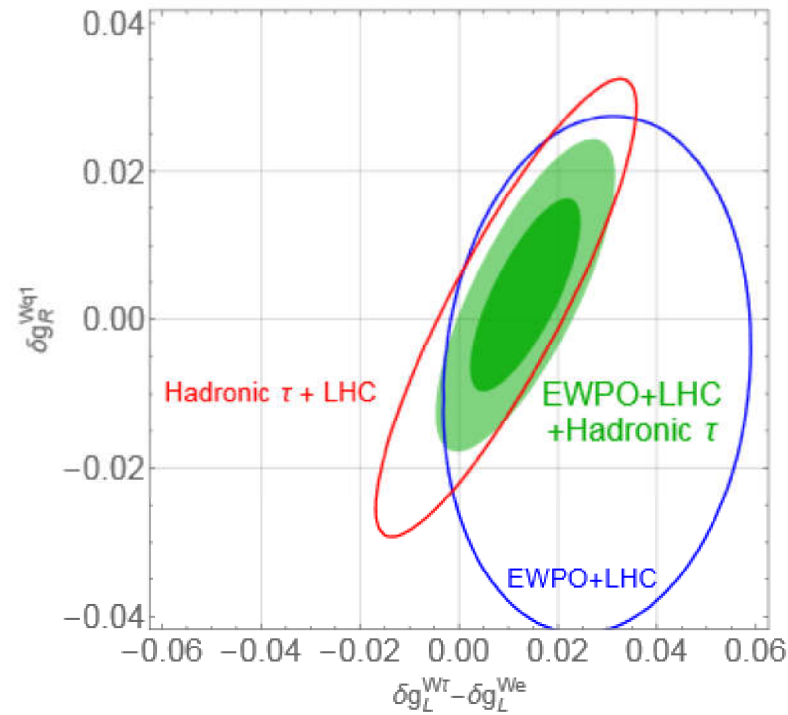
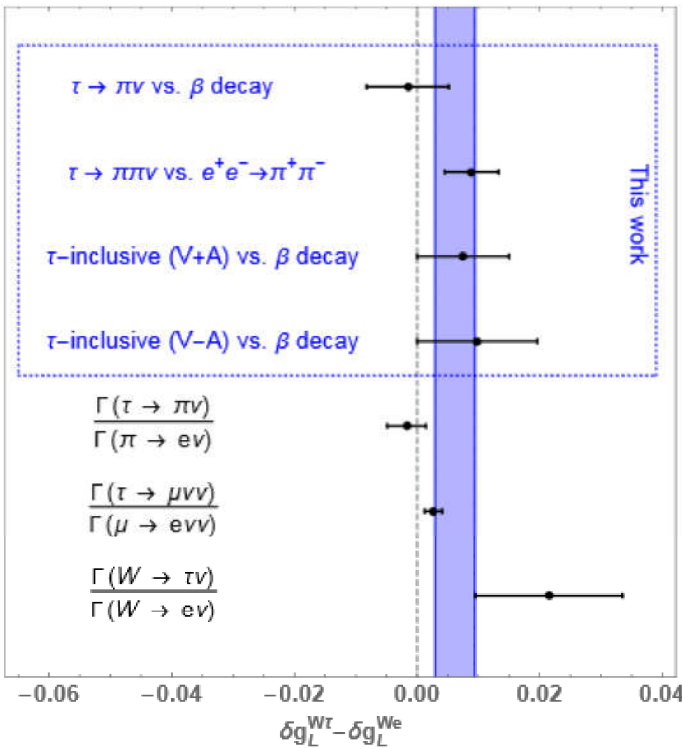
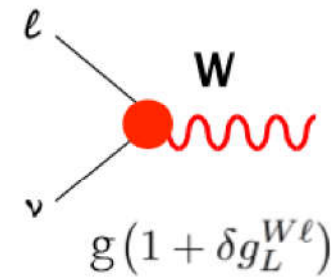
From  $\pi\pi$  channel:  $\hat{\epsilon}_T = (-1.3_{-2.2}^{+1.5}) \cdot 10^{-3}$  (Miranda & Roig '18)

*Nuestros análisis prueban universalidad leptónica*

Limits from Cirigliano et al. '18:



$$\begin{pmatrix} \epsilon_L^\tau - \epsilon_L^e + \epsilon_R^\tau - \epsilon_R^e \\ \epsilon_S^\tau \\ \epsilon_P^\tau \\ \epsilon_T^\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 \pm 1.1 \\ 0.2 \pm 1.3 \\ -0.6 \pm 1.5 \\ 0.5 \pm 1.2 \\ -0.04 \pm 0.46 \end{pmatrix} \cdot 10^{-2}$$



Coefficient	ATLAS $\tau\nu$	$\tau$ decays	$\tau$ and $\pi$ decays
$[c_{\ell q}^{(3)}]_{\tau\tau 11}$	[0.0, 1.6]	[-12.6, 0.2]	[-7.6, 2.1]
$[c_{\ell e q}]_{\tau\tau 11}$	[-5.6, 5.6]	[-8.4, 4.1]	[-5.6, 2.3]
$[c_{\ell d q}]_{\tau\tau 11}$	[-5.6, 5.6]	[-3.5, 9.0]	[-2.1, 5.8]
$[c_{\ell e q}^{(3)}]_{\tau\tau 11}$	[-3.3, 3.3]	[-10.4, -0.2]	[-8.6, 0.7]

TABLE I. 95% CL intervals (in  $10^{-3}$  units) at  $\mu = 1$  TeV, assuming one Wilson coefficient is present at a time.

$\Delta S=0$

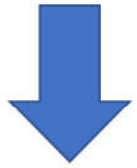
# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus

From  $\eta\pi$  channel:  $-0.83 \cdot 10^{-2} \leq \epsilon_S \leq 0.37 \cdot 10^{-2}$  (Garcés et al. '17)

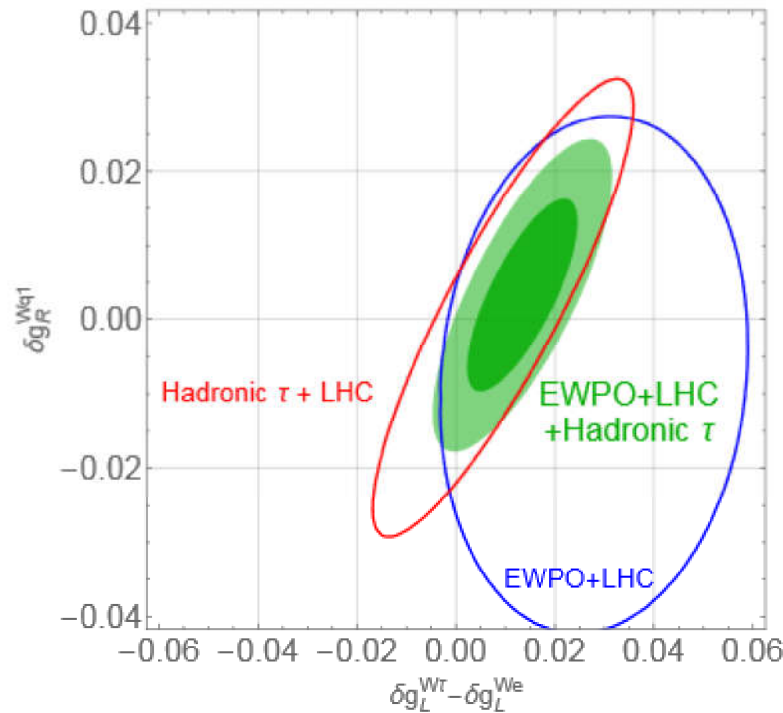
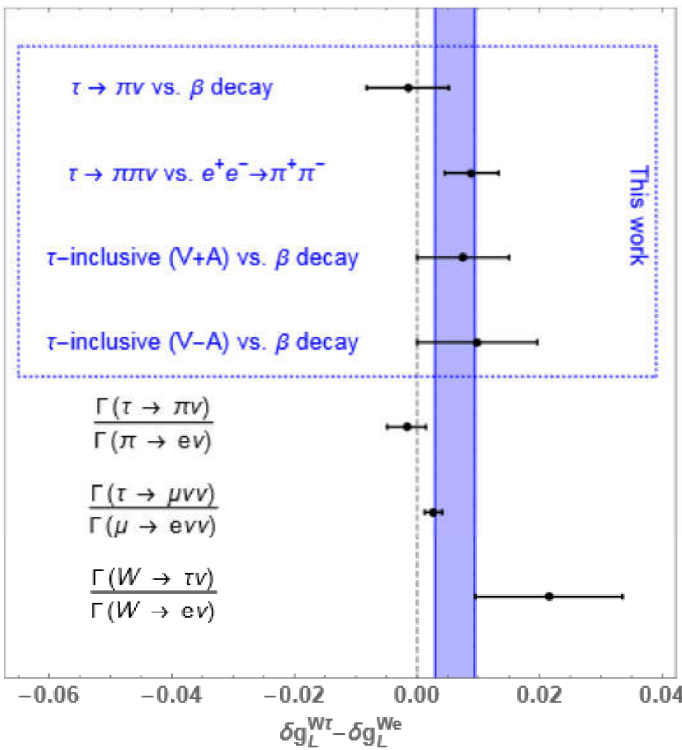
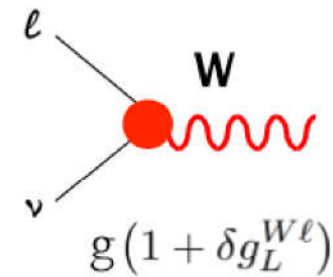
From  $\pi\pi$  channel:  $\hat{\epsilon}_T = (-1.3_{-2.2}^{+1.5}) \cdot 10^{-3}$  (Miranda & Roig '18)

*Nuestros análisis prueban universalidad leptónica*

Limits from Cirigliano et al. '18:



$$\begin{pmatrix} \epsilon_L^\tau - \epsilon_L^e + \epsilon_R^\tau - \epsilon_R^e \\ \epsilon_S^\tau \\ \epsilon_P^\tau \\ \epsilon_T^\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 \pm 1.1 \\ 0.2 \pm 1.3 \\ -0.6 \pm 1.5 \\ 0.5 \pm 1.2 \\ -0.04 \pm 0.46 \end{pmatrix} \cdot 10^{-2}$$



$R(\tau/\mu) = B(W \rightarrow \tau\nu_\tau) / B(W \rightarrow \mu\nu_\mu) =$   
 $0.992 \pm 0.013 [\pm 0.007(\text{stat}) \pm 0.011(\text{syst})]$   
 ATLAS 2007.14040

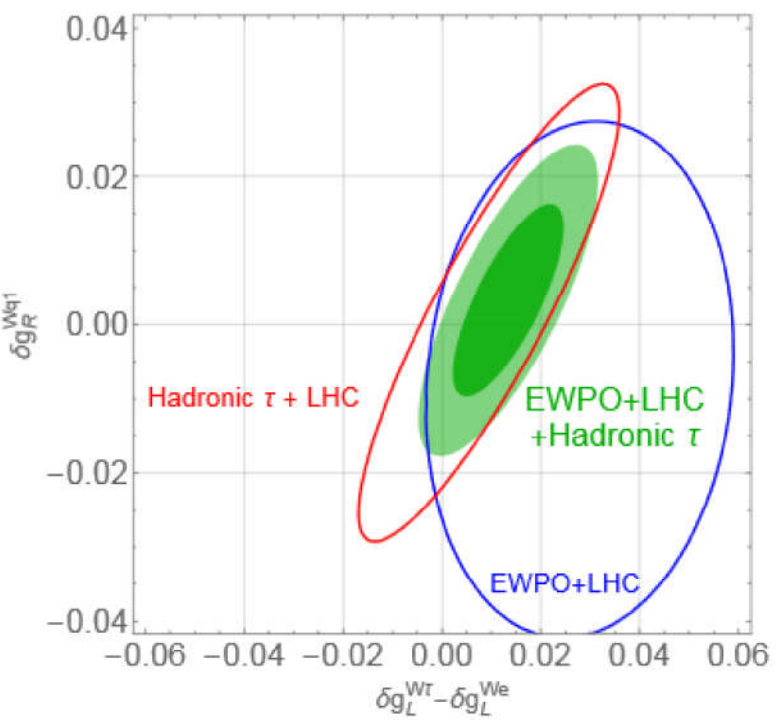
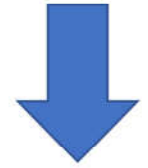
$\Delta S=0$

# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus

From  $\eta\pi$  channel:  $-0.83 \cdot 10^{-2} \leq \varepsilon_S \leq 0.37 \cdot 10^{-2}$  (Garcés et al. '17)

From  $\pi\pi$  channel:  $\hat{\varepsilon}_T = (-1.3^{+1.5}_{-2.2}) \cdot 10^{-3}$  (Miranda & Roig '18)

Limits from Cirigliano et al. '18:

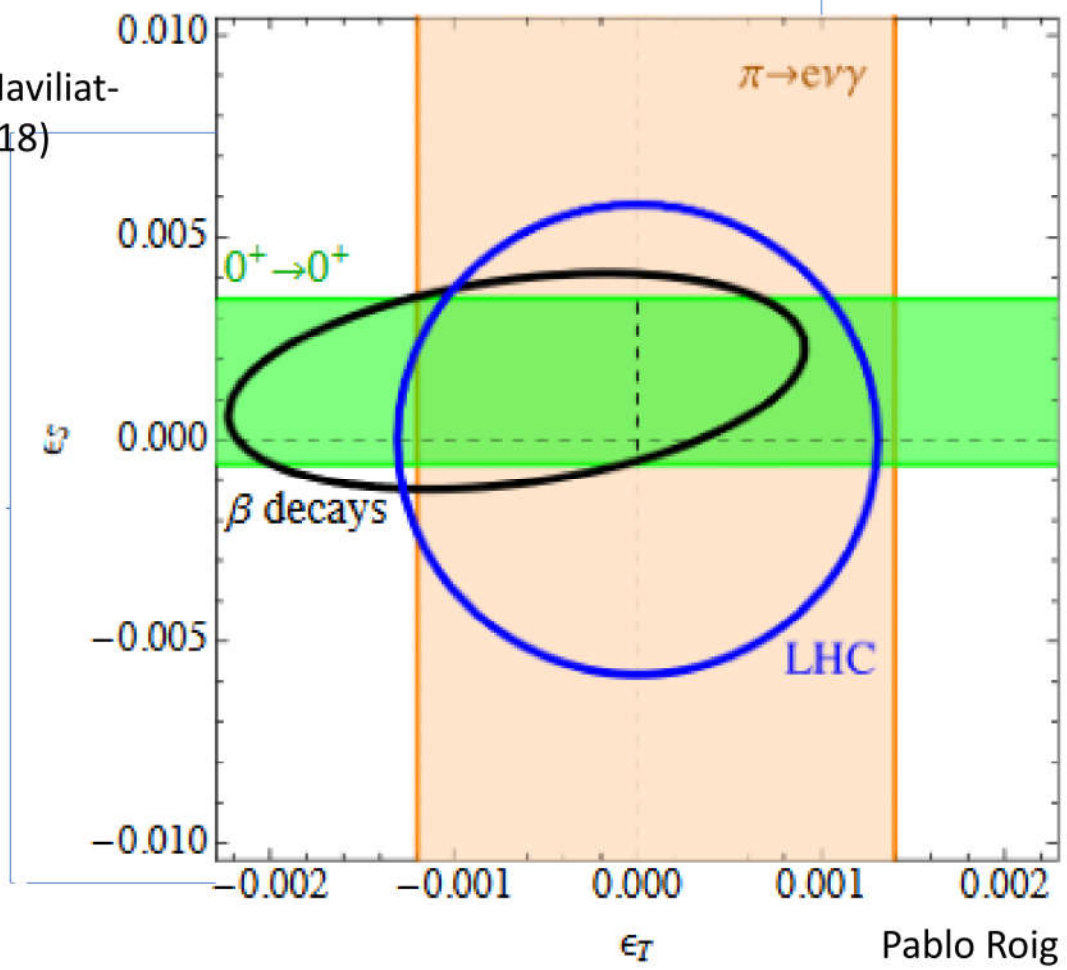


(González-Alonso, Naviliat-Cuncic & Severijns '18)

$\Lambda \approx [5,6] \text{ TeV}$

**Non-trivial constraints from  $\tau$  decay!!**

$$\Lambda \approx v (V_{ud} \varepsilon_{S,T})^{-1/2}$$



Pablo Roig

# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus

- En el análisis de Cirigliano et al. se realiza un análisis utilizando datos exclusivos e inclusivos. En González-Solís, Miranda, Rendón y Roig (PLB'20) empleamos **sólo datos exclusivos** (añadiendo algunos canales no utilizados previamente).

**Cirigliano et al. '18**

$$\begin{pmatrix} \epsilon_L^\tau - \epsilon_L^e + \epsilon_R^\tau - \epsilon_R^e \\ \epsilon_R^\tau \\ \epsilon_S^\tau \\ \epsilon_P^\tau \\ \epsilon_T^\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 \pm 1.1 \\ 0.2 \pm 1.3 \\ -0.6 \pm 1.5 \\ 0.5 \pm 1.2 \\ -0.04 \pm 0.46 \end{pmatrix} \cdot 10^{-2}$$

**Nuestros resultados '20**

$$\begin{pmatrix} \epsilon_L^\tau - \epsilon_L^e + \epsilon_R^\tau - \epsilon_R^e \\ \epsilon_R^\tau + \frac{m_\pi^2}{2m_\tau(m_u+m_d)} \epsilon_P^\tau \\ \epsilon_S^\tau \\ \epsilon_T^\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 \pm 0.6_{-1.8}^{+2.3} \pm 0.2_{-0.1}^{+0.2} \\ 0.3 \pm 0.5_{-0.9}^{+1.1} \pm 0.1_{-0.0}^{+0.1} \\ 9.7_{-0.6}^{+0.5} \pm 21.5_{-0.1}^{+0.0} \pm 0.2 \\ -0.1 \pm 0.2_{-1.4}^{+1.1} \pm 0.0_{-0.1}^{+0.0} \end{pmatrix} \times 10^{-2}$$

Nuestros errores son: estadístico, de  $\pi$  VFF, de  $m_q$  y de TFF

Nuestro  $\epsilon_S$  está de acuerdo con el suyo (Garcés et al. '17) si usamos el canal  $\pi\eta$   
 $(-0.2 \pm 0.6) \times 10^{-2}$

# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus

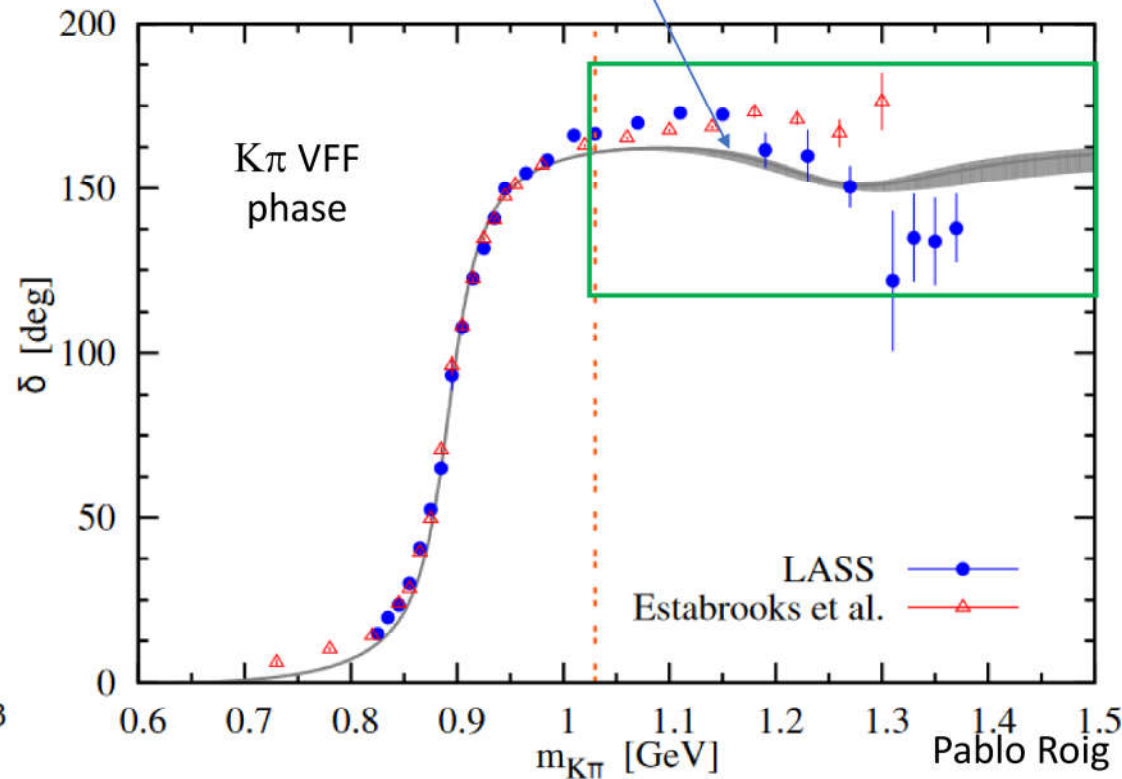
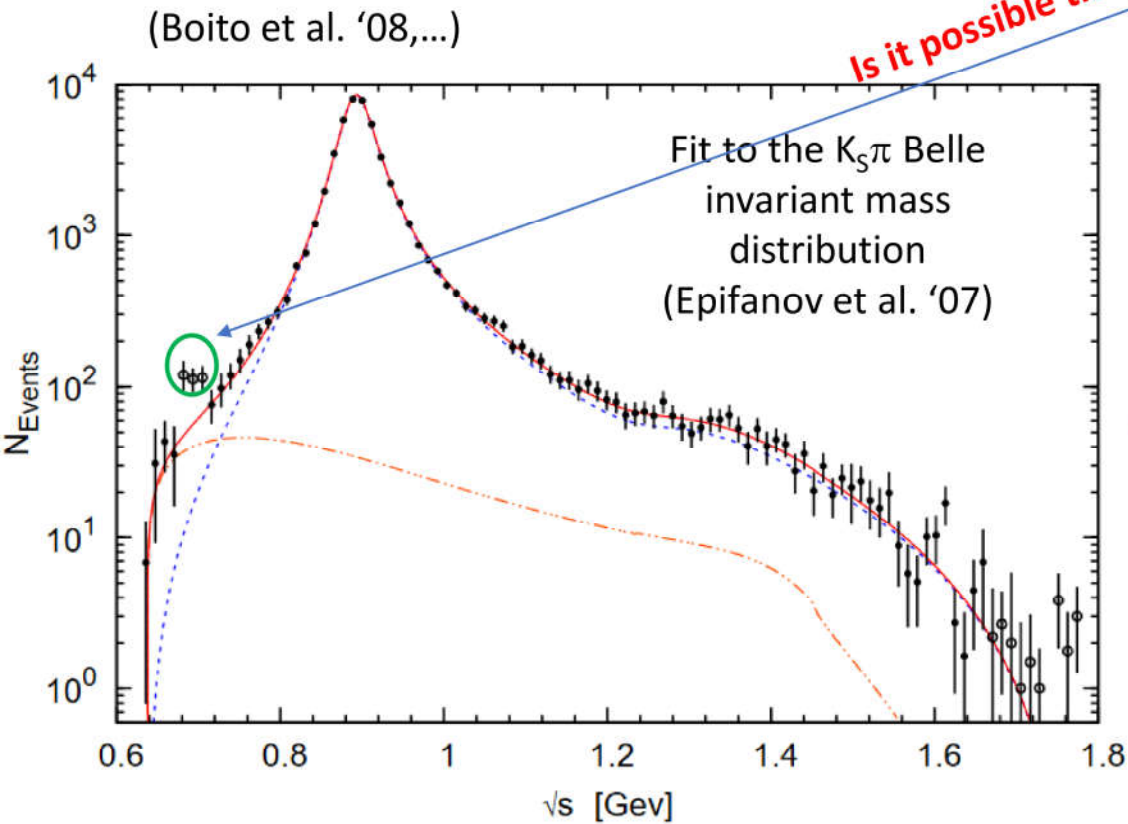
$$A_{CP} = \frac{\Gamma(\tau^+ \rightarrow \pi^+ K_S \bar{\nu}_\tau) - \Gamma(\tau^- \rightarrow \pi^- K_S \nu_\tau)}{\Gamma(\tau^+ \rightarrow \pi^+ K_S \bar{\nu}_\tau) + \Gamma(\tau^- \rightarrow \pi^- K_S \nu_\tau)}$$



(Rendón, Roig & Toledo '19)

E-dependence is important for computing  $A_{CP}$  later on!!

Is it possible that these data points are due to NP?



# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus



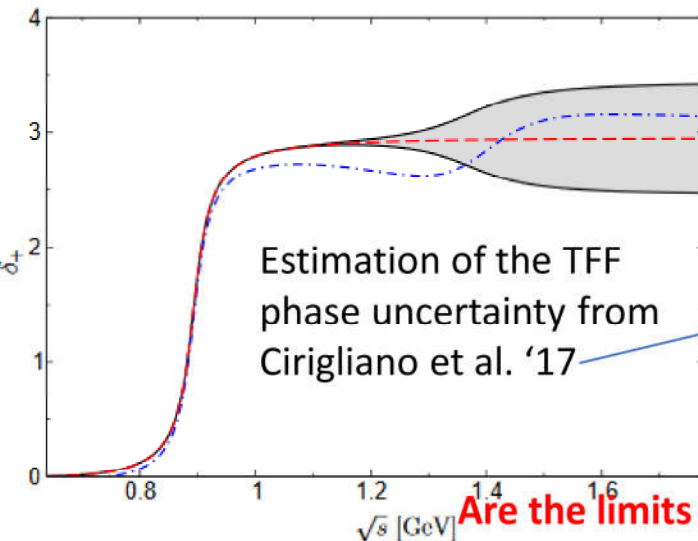
(Rendón, Roig & Toledo '19)

Is it possible that the  $i=5,6,7$  data points are due to heavy NP?

**NO**

What is the UL for  $A_{CP}^{BSM}$  taking all FF uncertainties into account?

$$A_{CP} = \frac{A_{CP}^{SM} + A_{CP}^{BSM}}{1 + A_{CP}^{SM} \times A_{CP}^{BSM}}, \quad A_{CP}^{BSM} = \frac{2 \sin \delta_T^W |\hat{\epsilon}_T| G_F^2 |V_{us}|^2 S_{EW}}{256 \pi^3 M_\tau^2 \Gamma(\tau \rightarrow K_S \pi \nu_\tau)} \int_{s_{\pi K}}^{M_\tau^2} ds |f_+(s)| |F_T(s)| \sin(\delta_+(s) - \delta_T(s)) \frac{\lambda^{3/2}(s, m_\pi^2, m_K^2)(M_\tau^2 - s)^2}{s^2}$$



$$\sin \delta_T^W |\hat{\epsilon}_T| \sim \Im[\hat{\epsilon}_T]$$

$$2 \Im[\hat{\epsilon}_T] \lesssim 10^{-5}$$

We find  $A_{CP}^{BSM} \lesssim 8 \cdot 10^{-7}$

Compared to  $A_{CP}^{BSM} \lesssim 3 \cdot 10^{-7}$   
In Cirigliano et al. '17

Impossible to understand  $A_{CP}^{exp} = -3.6 \times 10^{-3}$  vs  $A_{CP}^{SM} = +3.3 \times 10^{-3}$  !!

Are the limits on  $\epsilon_S, \epsilon_T$  competitive with those from Kaon & hyperon decays?

Pablo Roig

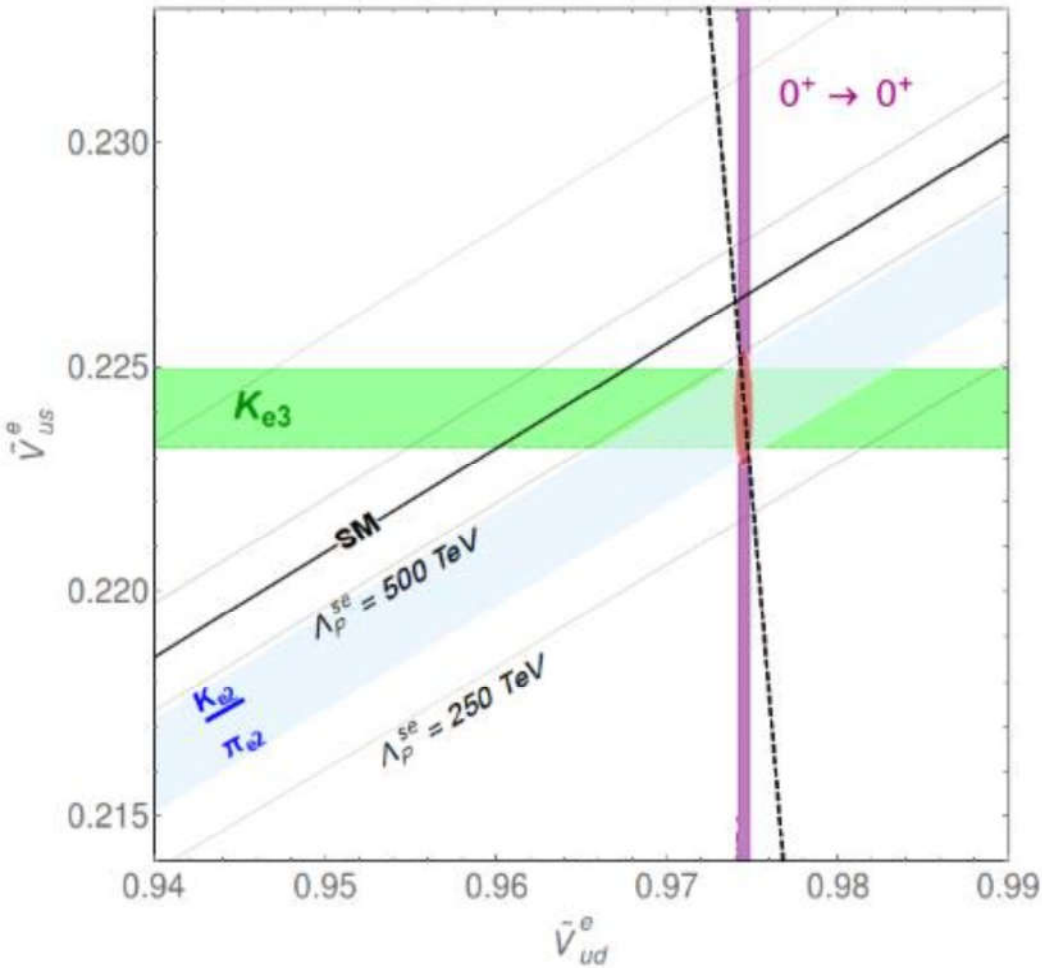


# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus

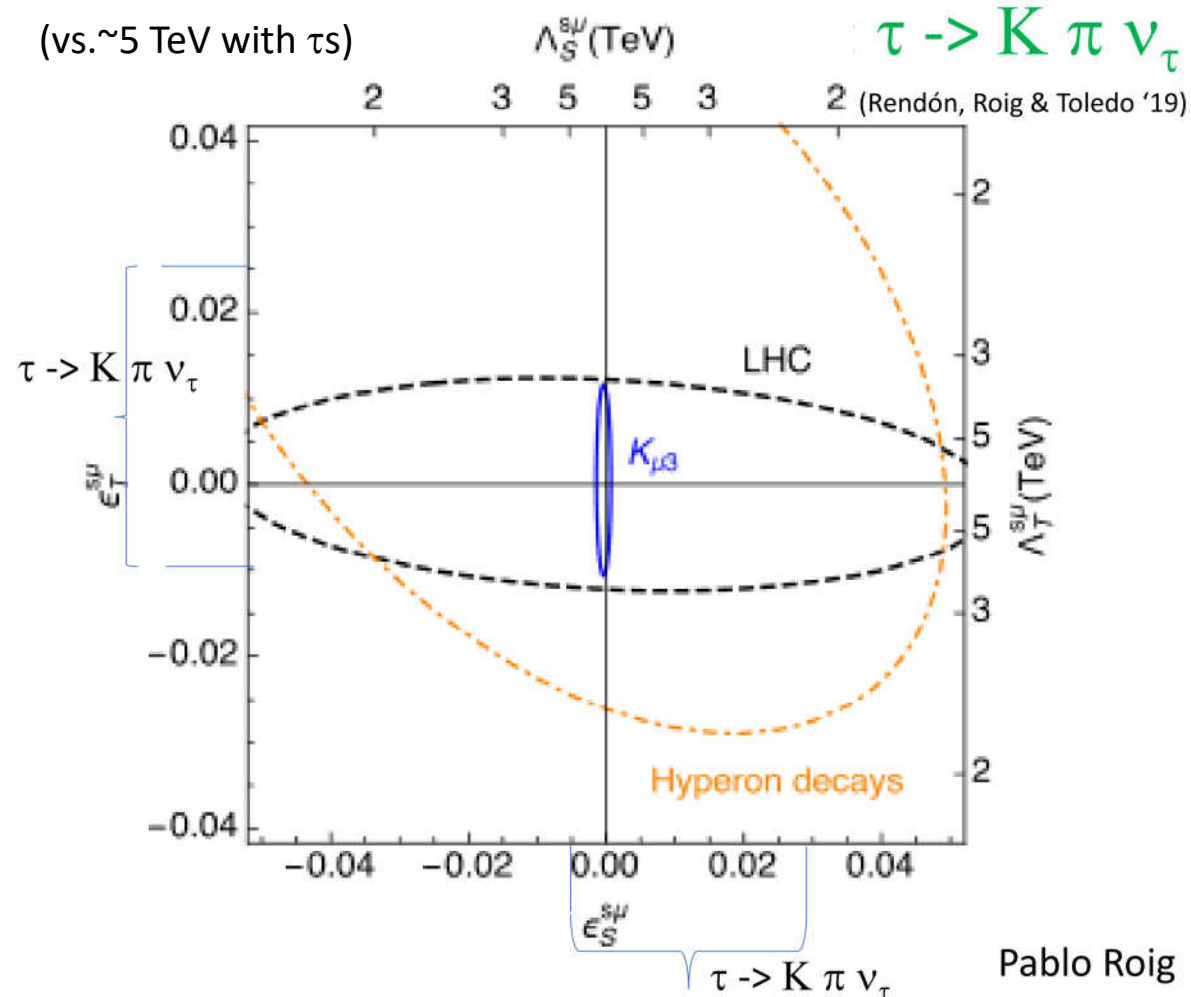
(scalar NSI)

Kaon Physics may reach O(500) TeV (González-Alonso et al. '15, '16, '17)

$$\Lambda \sim v(V_{us}\hat{c}_{S,T})^{-1/2}$$



(vs.  $\sim 5 \text{ TeV}$  with  $\tau$ s)



Pablo Roig

# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus $|\Delta S| = 1$

$$\begin{pmatrix} \epsilon_L^\tau - \epsilon_L^e + \epsilon_R^\tau - \epsilon_R^e \\ \epsilon_R^\tau + \frac{m_K^2}{2m_\tau(m_u+m_s)} \epsilon_P^\tau \\ \epsilon_S^\tau \\ \epsilon_T^\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 \pm 1.5 \pm 0.3 \\ 0.4 \pm 0.9 \pm 0.2 \\ 0.8_{-0.9}^{+0.8} \pm 0.3 \\ 0.9 \pm 0.7 \pm 0.4 \end{pmatrix} \times 10^{-2}$$

(González-Solís, Miranda, Rendón & Roig'20)  
*(único análisis con cambio de extrañeza)*

**Cirigliano et al. '18**

$\Delta S = 0$

$$\begin{pmatrix} \epsilon_L^\tau - \epsilon_L^e + \epsilon_R^\tau - \epsilon_R^e \\ \epsilon_R^\tau \\ \epsilon_S^\tau \\ \epsilon_P^\tau \\ \epsilon_T^\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 \pm 1.1 \\ 0.2 \pm 1.3 \\ -0.6 \pm 1.5 \\ 0.5 \pm 1.2 \\ -0.04 \pm 0.46 \end{pmatrix} \cdot 10^{-2}$$

# Aplicación de SMEFT a desintegraciones de taus $\Delta S=0$ & $|\Delta S|=1$

(González-Solís, Miranda, Rendón & Roig'20)

*Se supone universalidad de los acoplamientos bajo  $d \leftrightarrow s$ , test de MFV*

$$\begin{pmatrix} \epsilon_L^\tau - \epsilon_L^e + \epsilon_R^\tau - \epsilon_R^e \\ \epsilon_R^\tau \\ \epsilon_P^\tau \\ \epsilon_S^\tau \\ \epsilon_T^\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.9 & \pm 0.6 & +1.0 & \pm 0.6 & \pm 0.0 & \pm 0.4 & +0.2 \\ 7.1 & \pm 4.9 & +0.5 & +1.3 & +1.2 & \pm 0.2 & +40.9 \\ -7.6 & \pm 6.3 & \pm 0.0 & +1.9 & +1.7 & \pm 0.0 & +19.0 \\ 5.0 & +0.7 & +0.8 & +0.2 & \pm 0.0 & \pm 0.2 & +1.1 \\ -0.5 & \pm 0.2 & +0.8 & \pm 0.0 & \pm 0.0 & \pm 0.6 & \pm 0.1 \end{pmatrix} \times 10^{-2}$$

# CONCLUSIONS

Hadron Tau decays are not only a QCD lab but also powerful NP probes

# CONCLUSIONS

Hadron Tau decays are not only a QCD lab but also powerful NP probes

I have reviewed what can be learnt using the low-E limit of SMEFT for them

# CONCLUSIONS

Hadron Tau decays are not only a QCD lab but also powerful NP probes

I have reviewed what can be learnt using the low-E limit of SMEFT for them

For  $\Delta S=0$  they are **complementary to EWPO & LHC data**

Competitive for scalar ( $\pi\eta$ ) and tensor ( $\pi\pi$ ) NSI

# CONCLUSIONS

Hadron Tau decays are not only a QCD lab but also powerful NP probes

I have reviewed what can be learnt using the low-E limit of SMEFT for them

For  $\Delta S=0$  they are complementary to EWPO & LHC data

Competitive for scalar ( $\pi\eta$ ) and tensor ( $\pi\pi$ ) NSI

For  $\varepsilon_T$   $|\Delta S| = 1$  tau decays help Kaon (semi)leptonic decays & LHC data

Competitive for tensor ( $K\pi$ ) NSI

# CONCLUSIONS

Hadron Tau decays are not only a QCD lab but also powerful NP probes

I have reviewed what can be learnt using the low-E limit of SMEFT for them

For  $\Delta S=0$  they are complementary to EWPO & LHC data

Competitive for scalar ( $\pi\eta$ ) and tensor ( $\pi\pi$ ) NSI

For  $\varepsilon_T$   $|\Delta S| = 1$  tau decays help Kaon (semi)leptonic decays & LHC data

Competitive for tensor ( $K\pi$ ) NSI

$K\pi$ : Both the BaBar  $A_{CP}$  anomaly and the  $i=5,6,7$  Belle data points cannot be explained by heavy NP contributions



# CONCLUSIONS

Hadron Tau decays are not only a QCD lab but also powerful NP probes

I have reviewed what can be learnt using the low-E limit of SMEFT for them

For  $\Delta S=0$  they are complementary to EWPO & LHC data

Competitive for scalar ( $\pi\eta$ ) and tensor ( $\pi\pi$ ) NSI

For  $\varepsilon_\tau$   $|\Delta S| = 1$  tau decays help Kaon (semi)leptonic decays & LHC data

Competitive for tensor ( $K\pi$ ) NSI

$K\pi$ : Both the BaBar  $A_{CP}$  anomaly and the  $i=5,6,7$  Belle data points cannot be explained by heavy NP contributions

Plenty of interesting measurable observables for hadron  $\tau$  decays in our papers

# Tests de Nueva Física con leptones y quarks ligeros

- Las anomalías en los momentos magnéticos de  $\mu$  y  $e$ 
  - Análisis EFT de desintegraciones  $\beta$ , de  $\pi$  y  $K$
- Tests de universalidad leptónica (diversos procesos)
- Violación de sabor o número leptónicos (diversos procesos)
- Parámetros de Michel en desintegraciones de muones y taus
- Análisis EFT de desintegraciones semileptónicas de taus

**Pablo Roig**

**Cinvestav** (CDMX)

Agosto de 2020

# Tests de Nueva Física con leptones y quarks ligeros

- Las anomalías en los momentos magnéticos de  $\mu$  y  $e$ 
  - Análisis EFT de desintegraciones  $\beta$ , de  $\pi$  y  $K$
- Tests de universalidad leptónica (diversos procesos)
- Violación de sabor o número leptónicos (diversos procesos)
- Parámetros de Michel en desintegraciones de muones y taus
- Análisis EFT de desintegraciones semileptónicas de taus

Looking for NP, go as leptonic (clean) as possible

**Pablo Roig**

**Cinvestav** (CDMX)