

Capítulo 6

Resumen y conclusiones

En este trabajo de Tesis Doctoral se llevó a cabo un estudio de las características de los modelos con simetría de gauge $SU(3)_C \otimes SU(3)_L \otimes U(1)_X$, o modelos 331, que constituyen extensiones relativamente simples del Modelo Estándar de las interacciones electrodébiles y fuertes. El trabajo ha sido orientado a contribuir al conocimiento de la fenomenología de estos modelos, abarcando tres aspectos fundamentales: en primer lugar, se estudiaron en detalle los acoplamientos que pueden dar lugar a manifestaciones significativas de la nueva física contenida en estas teorías; en segundo lugar, se buscaron observables adecuados para que estas manifestaciones de nueva física puedan tener lugar a escalas alcanzables por los experimentos actuales, estableciendo cotas para los parámetros de la teoría a partir de los datos experimentales existentes; y por último, se estudiaron predicciones para las propiedades de nuevas partículas presentes en los modelos, que podrían ser detectadas en el futuro próximo en experimentos como el LHC o el ILC.

En lo que hace al análisis teórico de la estructura de los modelos y las posibles manifestaciones de nueva física, se analizaron modelos 331 con un contenido mínimo de partículas exóticas, tanto en el sector fermiónico como en el sector escalar. Estos modelos 331 mínimos incluyen tres tripletes de quarks, un triplete de leptones y dos o tres tripletes de escalares, y la extensión del grupo de gauge implica la existencia de nuevos bosones de gauge K_1 , \bar{K}_1 , K_2 , \bar{K}_2 y Z' , además de los usuales A , W^\pm y Z . Los números cuánticos de estas partículas dependen de un parámetro β , en principio arbitrario, que caracteriza al modelo en cuestión. Puede verse que para que estos modelos estén libres de anomalías es necesario que los tripletes de quarks izquierdos estén en diferentes representaciones del grupo $SU(3)_L$ (dos en la $\mathbf{3}$ y uno en la $\mathbf{3}^*$, o viceversa), y este hecho trae como consecuencia que los acoplamientos de los quarks estándar con el bosón Z' no sean universales, implicando que el Z' sea mediador de corrientes neutras con cambio de sabor (FCNC). Asimismo, en los modelos en que $\beta = \pm 1/\sqrt{3}$, los quarks exóticos tienen las mismas cargas eléctricas que los quarks estándar, y en general los autoestados de masa son combinaciones de ambos (lo mismo ocurre con los bosones de gauge). Como consecuencia, tampoco los acoplamientos de los quarks izquierdos con el bosón Z son universales. En el capítulo 3 se presenta un análisis detallado de las corrientes neutras y cargadas en los

modelos 331 que generaliza resultados obtenidos previamente y sirve como base teórica para el análisis fenomenológico llevado a cabo en los capítulos posteriores. La presencia de FCNC, ausentes a nivel árbol en el ME, conduce típicamente a manifestaciones de nueva física observables a las escalas de energía alcanzadas en los experimentos actuales. De este modo, representará un *constraint* fundamental a la hora de establecer cotas para los nuevos parámetros libres presentes en los modelos.

En el capítulo 4 se analizaron las FCNC mediadas por el bosón Z' , determinando las correspondientes contribuciones a observables relacionados con la fenomenología de los mesones K , B_s y B_d . Concretamente, se estudió el sector de quarks de carga $-1/3$, en donde las FCNC tienen importantes efectos sobre el mixing entre mesones $K^0 - \bar{K}^0$, $B_d - \bar{B}_d$ y $B_s - \bar{B}_s$. A partir del análisis realizado para cinco observables en un modelo 331 determinado, se encontró que las FCNC pueden presentar efectos significativos para bosones Z' con masas del orden del TeV. Se mostró que las contribuciones para estos observables se encuentran correlacionadas, y se llevó a cabo un fit a los datos experimentales para establecer cotas para los nuevos parámetros del modelo (masas y parámetros de mezcla entre quarks). Es importante señalar que al incluir los parámetros conocidos del ME, para la matriz de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM) sólo se tuvieron en cuenta los datos experimentales correspondientes a procesos que involucran amplitudes "árbol", dado que el fit global de los elementos de la matriz CKM presentado usualmente en la literatura se obtiene precisamente a partir de los observables estudiados en nuestro trabajo y en principio resultaría afectado por la presencia de la nueva física bajo estudio. Como resultado se obtuvo que el espacio de parámetros del modelo relevante para estos observables consta de cinco variables, que denotamos como los ángulos θ_{13} , θ_{23} y las fases ϕ' , ϕ'' , todos provenientes de la matriz V_L^d de mezcla de quarks en el sector down, más la masa del bosón Z' (o equivalentemente, la escala de ruptura de la simetría $SU(3)_L \otimes U(1)_X$). Las fases ϕ' y ϕ'' son fuentes de violación de CP en la teoría. Fijando $m_{Z'} = 1$ TeV encontramos las cotas superiores $|\theta_{13}| \lesssim 0,003$ y $|\theta_{23}| \lesssim 0,035$ para los ángulos de mezcla, observando que estas cotas están correlacionadas entre sí y con los posibles valores de las fases ϕ' y ϕ'' . Asimismo mostramos cómo estas cotas se modifican al variar la masa del bosón Z' . Finalmente, comparamos estos resultados con los valores obtenidos para los ángulos de mezcla del sector down a partir de la imposición de una textura determinada para la matriz de masa de los quarks. Utilizando para esta matriz un Ansatz ampliamente estudiado en la literatura, puede verse que en el marco de los modelos 331 el esquema teórico es compatible con los resultados experimentales para los observables considerados para una escala de rompimiento de simetría por sobre unos pocos TeV. Es importante mencionar que en el ME no pueden obtenerse cotas para los ángulos de mezcla del sector down, dado que éstos no son observables en forma independiente de los del sector up. También cabe mencionar que, si bien existen otros observables fuertemente sensibles a la presencia de corrientes neutras con cambio de sabor (ej. oscilaciones de mesones D , decaimientos de mesones K), éstos proveen cotas que involucran la combinación de muchos parámetros de los modelos, de donde finalmente la información que puede obtenerse es muy limitada. La selección de los observables a tener en cuenta ha representado una parte

importante del estudio realizado en este trabajo.

Por último, se procuró estudiar la fenomenología relacionada con las nuevas partículas presentes en el modelo. Dado que el sector escalar presenta muchos parámetros desconocidos, y es esperable que resulte de difícil identificación experimental, es natural (una vez estudiadas las corrientes vectoriales y axiales) concentrarse en el sector de quarks exóticos. En el capítulo 5 nos concentramos específicamente en el sector de quarks de carga $2/3$, dado el interés existente en el estudio del quark top y las posibilidades cercanas de observación en el LHC. En general la detección de un quark exótico de carga $2/3$ sería relativamente “limpia”, dado que los procesos involucrados poseen un background bien establecido en el ME. A fin de lidiar con el menor número de parámetros desconocidos nos concentramos en un modelo 331 con $\beta = -1/\sqrt{3}$, que presenta un único quark T de carga $2/3$ que en general se mezcla con los quarks ordinarios u , c y t . Estudiamos en detalle los acoplamientos de este quark exótico con los bosones de gauge ordinarios (W y Z), y analizamos la contribución de quarks T virtuales en las oscilaciones de mesones neutros K y B . Mostramos que es posible establecer cotas para las masas de los T y de los ángulos de mezcla entre éstos y los quarks ordinarios. De este modo se pudieron establecer cotas absolutas para los productos de los anchos de desintegración $\Gamma(T \rightarrow D_i W)\Gamma(T \rightarrow D_j W)$, donde D_i y D_j son quarks ordinarios de tipo down. Asimismo, para el caso en que estas cotas se encuentran saturadas, es posible obtener las magnitudes relativas para los anchos de desintegración de los quarks T en los diferentes canales $T \rightarrow D_i W$. También se analizaron los decaimientos $T \rightarrow U_i Z$, donde U_i es un quark ordinario de tipo up, en el contexto de determinadas texturas para las matrices de masas fermiónicas. Como resultado general se obtuvo que es esperable que los anchos de desintegración $T \rightarrow D_i W$ y $T \rightarrow U_i Z$ resulten del mismo orden de magnitud, siendo D_i y U_i quarks de la misma familia, mientras que en el caso en que las cotas resultan saturadas también debe suceder que los anchos de desintegración obedezcan jerarquías semejantes a las observadas en las masas y ángulos de mezcla de los quarks.