

Catálogo de ondas gravitatorias

Alejandro José Florido Tomé

October 23, 2024

1 Discussion

We are going to limite ourselves to the precessing case that leads to a non-vanishing value of the Chern-Pontryagin scalar. In this case, the principal contribution is due to the final part of the inspiral, the moment of the merger, and the beginning of the ringdown, as we can see at the Fig. 2.

There may be some contribution at the beginning, near $t=0$, associated with an initial burst that is not physical, and it is due to the numerical simulation. For that reason, in our simulations we will take 250 s as the initial time.

At Table 1, in all models the dominant modes is $l = 2, m = \pm 2$: in a non-precessing model, such as eBBH1632 which is an aligned system, this is not true because they cancel each other. Then, the anomaly is relevant and non-zero thanks to these modes.

We could ask ourselves the relation between

the Chern-Pontryagin scalar, and the variables of our precessing system such as the final kick, the peak luminosity or the final chi, among others. First of all,

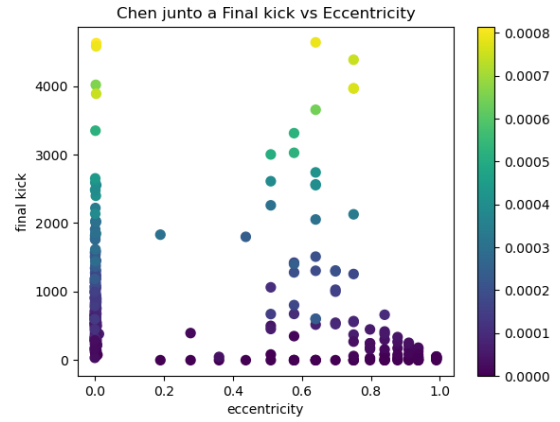


Figure 1: Valores del CP para distintos mergers.

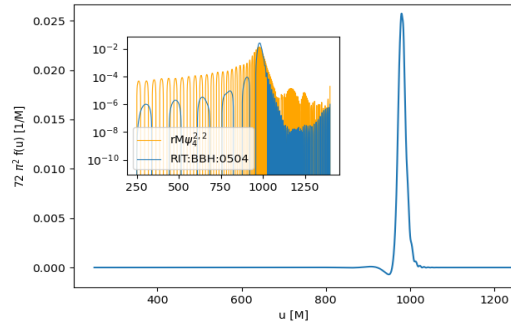
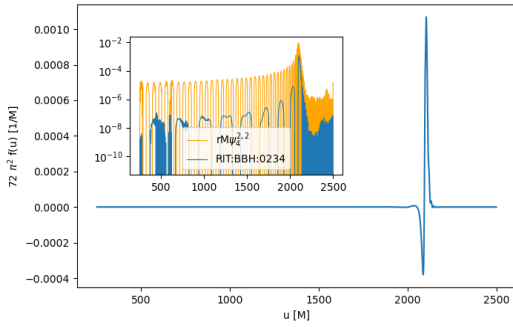


Figure 2: .

l m	2			3				4				
	± 2	± 1	0	± 3	± 2	± 1	0	± 4	± 3	± 2	± 1	0
BBH0130	90.7	2.0	0.1	3.6	1.7	10^{-2}	$2 \cdot 10^{-3}$	1.7	0.3	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
BBH0168	81.7	11.6	1.7	2.4	1.4	$6 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	0.9	0.1	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$
BBH0234	61.9	21.2	1.6	9.3	2.5	$3 \cdot 10^{-2}$	10^{-2}	2.1	1.3	0.2	10^{-2}	$4 \cdot 10^{-4}$
BBH0363	95.9	0	10^{-2}	0	0.9	0	$6 \cdot 10^{-4}$	4.2	0	10^{-2}	0	$4 \cdot 10^{-4}$
BBH0393	94.5	0	$4 \cdot 10^{-4}$	0	0.6	0	$5 \cdot 10^{-4}$	4.8	0	$9 \cdot 10^{-3}$	0	$4 \cdot 10^{-4}$
BBH0504	94.6	0	$3 \cdot 10^{-3}$	0	0.6	0	$4 \cdot 10^{-4}$	4.9	0	$8 \cdot 10^{-3}$	0	$4 \cdot 10^{-4}$
BBH0874	34.8	19.6	4.7	15.3	11.1	4.7	0.8	3.1	3.0	2.1	0.6	$4 \cdot 10^{-2}$
eBBH1603	96.2	0	$2 \cdot 10^{-2}$	0	0.8	0	$5 \cdot 10^{-3}$	2.9	0	$9 \cdot 10^{-3}$	0	$8 \cdot 10^{-4}$
eBBH1604	96.7	0	$6 \cdot 10^{-2}$	0	0.6	0	$3 \cdot 10^{-3}$	2.6	0	$5 \cdot 10^{-3}$	0	$5 \cdot 10^{-4}$
eBBH1632	4.7	7.4	0.3	40.4	20.2	7.4	0.2	13.0	3.8	1.4	1.3	$8 \cdot 10^{-4}$

Table 1: Relative percentages of each node to the Chern-Pontryagin scalar for different precessing models, except for eBBH1632, which is aligned.

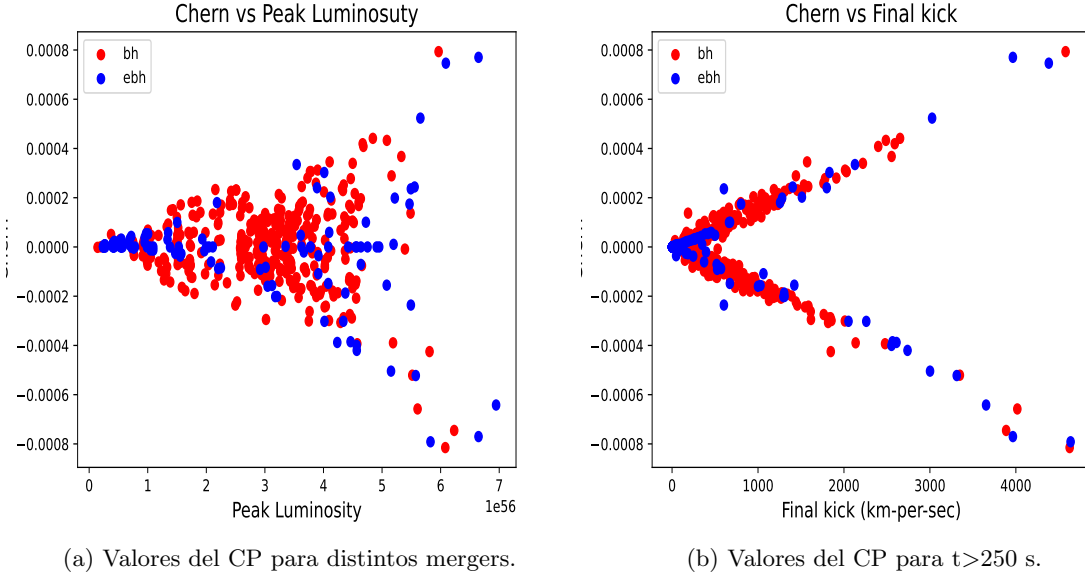
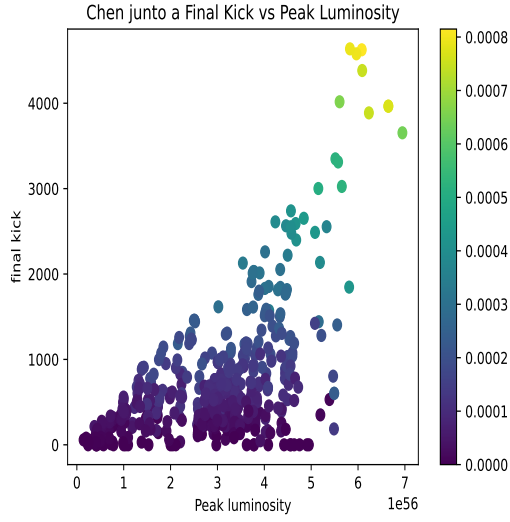
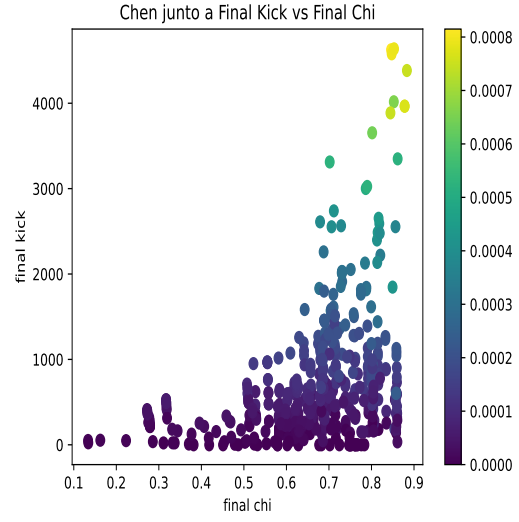


Figure 3: Precessing.



(a) Valores del CP para distintos mergers.



(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 4: Preprocessing.

2 BH non-spinning

Para estos agujeros negros que no rotan, hay un valor muy 'nulo' de su escalar chern-pontryagin (CP), del orden de 10^{-10} como máximo.

#	0:catalog-tag	1:system-type	2:chern_pontryagin
RIT:BBH:0001	Nonspinning	8.17791930821811e-20	0.0
RIT:BBH:0045	Nonspinning	2.77854623965022e-11	0.0
RIT:BBH:0077	Nonspinning	-1.2808735083941604e-10	0.0
RIT:BBH:0084	Nonspinning	2.8081709805936297e-11	0.0
RIT:BBH:0085	Nonspinning	1.3086073421567649e-10	0.0
RIT:BBH:0086	Nonspinning	2.411885482638334e-10	0.0
RIT:BBH:0087	Nonspinning	-1.6889733933345688e-10	0.0
RIT:BBH:0088	Nonspinning	1.6998101746597403e-10	0.0
RIT:BBH:0089	Nonspinning	-2.1166908302564527e-11	0.0
RIT:BBH:0090	Nonspinning	1.6076226325468807e-10	0.0
RIT:BBH:0102	Nonspinning	-5.170182504951337e-10	0.0
RIT:BBH:0112	Nonspinning	-4.394105896953015e-20	0.0
RIT:BBH:0113	Nonspinning	-9.092172165215199e-12	0.0
RIT:BBH:0114	Nonspinning	4.8721605560514356e-11	0.0
RIT:BBH:0115	Nonspinning	2.071743370074571e-10	0.0
RIT:BBH:0116	Nonspinning	9.569570449740865e-12	0.0
RIT:BBH:0117	Nonspinning	-7.889860960324201e-11	0.0
RIT:BBH:0118	Nonspinning	1.586817912427612e-11	0.0
RIT:BBH:0119	Nonspinning	1.3791340753163537e-10	0.0
RIT:BBH:0120	Nonspinning	-2.8876781938860753e-10	0.0
RIT:BBH:0121	Nonspinning	1.1892699688192016e-10	0.0

(a) Valores del CP para distintos mergers.

#	0:catalog-tag	1:system-type	2:chern_pontryagin
RIT:BBH:0001	Nonspinning	7.811743816805359e-20	0.0
RIT:BBH:0045	Nonspinning	7.911102390220388e-11	0.0
RIT:BBH:0077	Nonspinning	-1.518564672424447e-10	0.0
RIT:BBH:0084	Nonspinning	5.5735864354063646e-11	0.0
RIT:BBH:0085	Nonspinning	4.810939024826231e-11	0.0
RIT:BBH:0086	Nonspinning	1.9195714268348167e-11	0.0
RIT:BBH:0087	Nonspinning	-8.684937365296059e-11	0.0
RIT:BBH:0088	Nonspinning	1.452958279060806e-10	0.0
RIT:BBH:0089	Nonspinning	6.606790188137716e-11	0.0
RIT:BBH:0090	Nonspinning	-1.9824772949415903e-10	0.0
RIT:BBH:0102	Nonspinning	-5.961595593795448e-10	0.0
RIT:BBH:0112	Nonspinning	-3.6617549141275124e-20	0.0
RIT:BBH:0113	Nonspinning	-1.0150382366320438e-11	0.0
RIT:BBH:0114	Nonspinning	-1.0552436884614022e-11	0.0
RIT:BBH:0115	Nonspinning	2.0499213567675178e-10	0.0
RIT:BBH:0116	Nonspinning	-1.4906382343812897e-10	0.0
RIT:BBH:0117	Nonspinning	-5.2350995360541086e-11	0.0
RIT:BBH:0118	Nonspinning	8.984924061445784e-11	0.0
RIT:BBH:0119	Nonspinning	-7.728463628273696e-11	0.0
RIT:BBH:0120	Nonspinning	-1.0716480082124617e-10	0.0
RIT:BBH:0121	Nonspinning	7.014053800697456e-11	0.0

(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 5: Non-spinning.

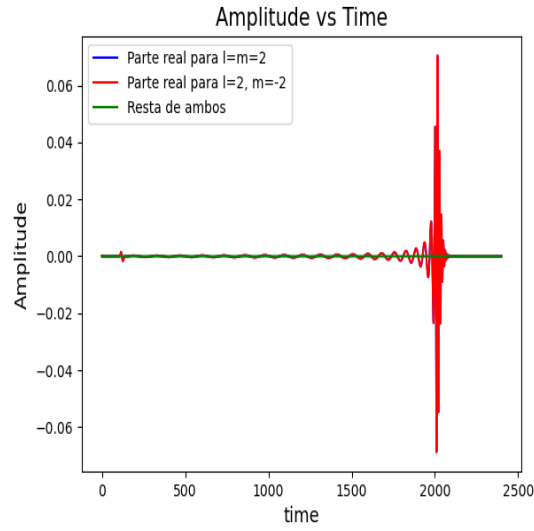
Valores muy pequeños. Destacar que al quitar la perturbación numérica inicial, se mantienen más o menos los valores, disminuyendo como mucho un orden de magnitud, obteniéndose una mayor precisión, como pasa con BBH0085.

En algunos casos como BBH0113 ha aumentado un orden de magnitud, disminuyendo la precisión. Es decir, en estos casos, el burst inicial es 'relevante', tal que el mismo no proporciona información física.

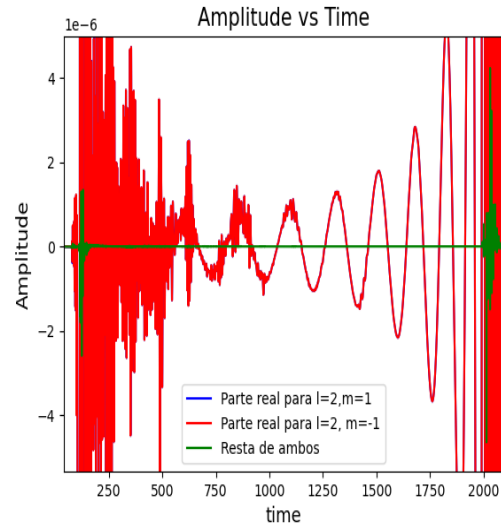
El valor del CP más o menos nulo, pero nulo en comparación con lo que veremos más adelante, depende fuertemente del kick. Por ejemplo, para BH001, su kick es 0, conque tiene un escalar del orden de 10^{-20} , mientras que BH0113 es de 43.35. Mayor es el valor del kick, mayor será.

2.1 BH0113

Centrándonos en este merger para intentar entender mejor que ocurre, podemos representar las partes reales y restar los modos simétricos, para ver de donde proviene la aparente 'gran' importancia que tiene el burst inicial:

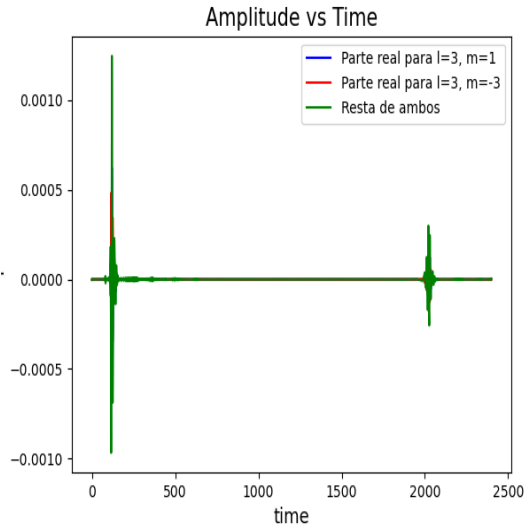


(a) .

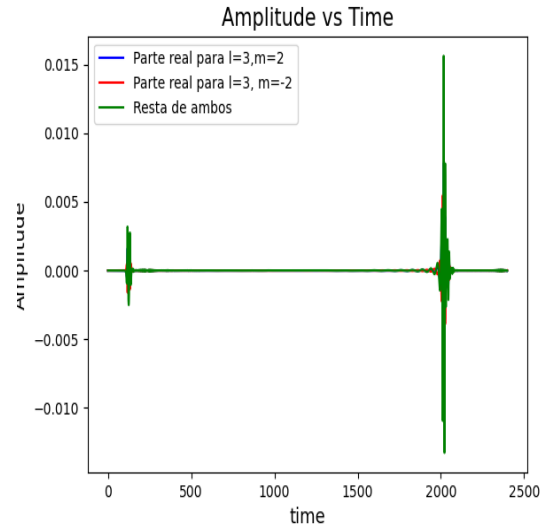


(b) .

Figure 6: Non-spinning.

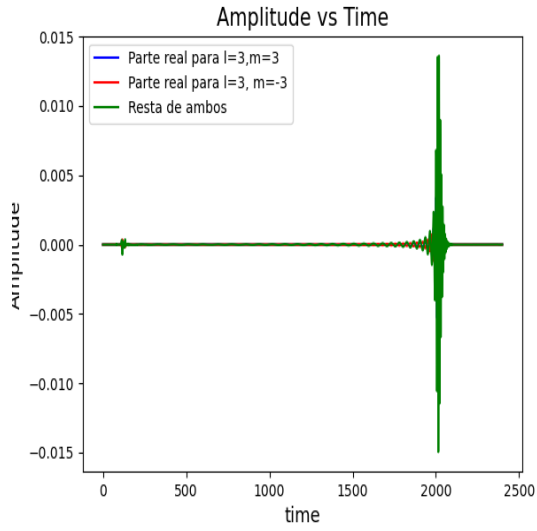


(a) .

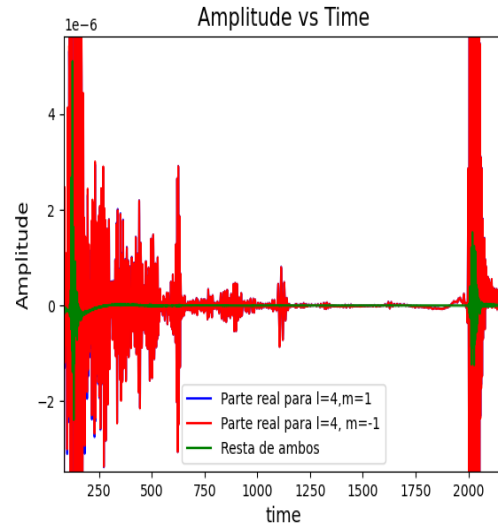


(b) .

Figure 7: Non-spinning.

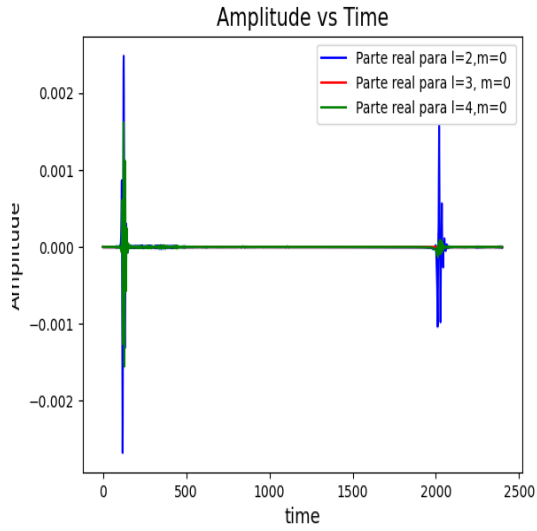


(a) .

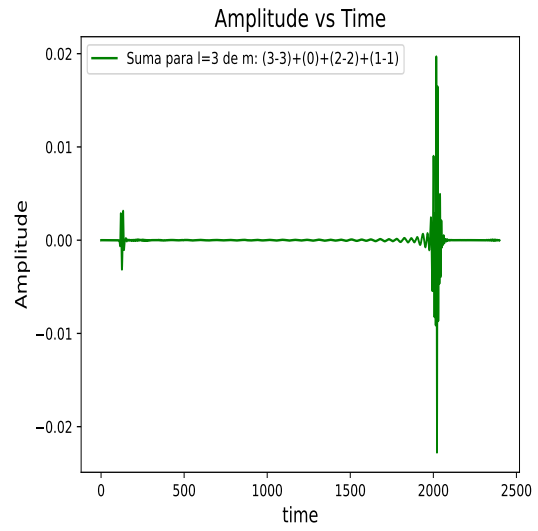


(b) .

Figure 8: Non-spinning.



(a) .



(b) .

Figure 9: Non-spinning.

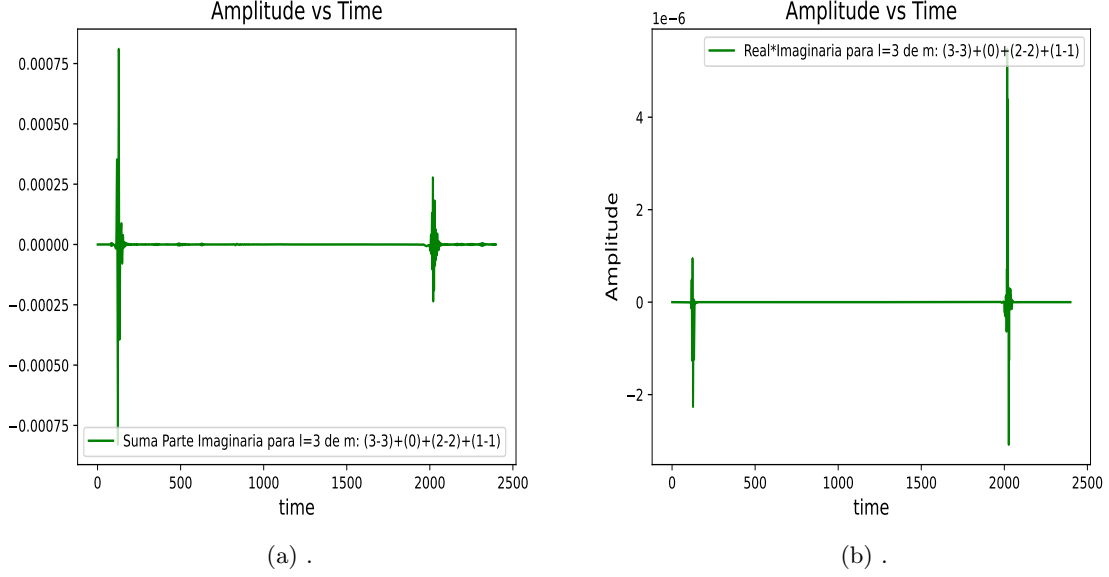
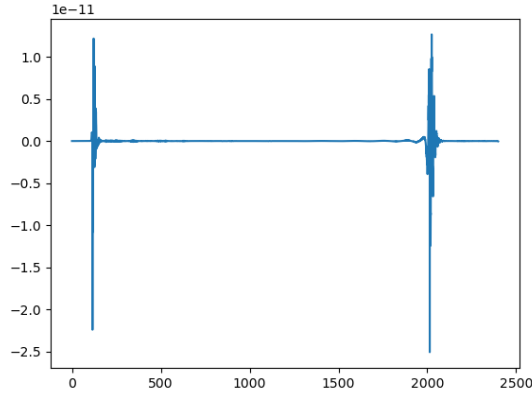


Figure 10: Non-spinning.

Se ve como las principales aportaciones se deben a los valores de l , m no principales, que serían para $l=m=2$ y $m=-2$ sobre todo.

De hecho, si representamos la función $f(u)$:



la principal aportación sí corresponde con los momentos en torno a la colisión, pero eso no quita que la perturbación inicial tenga una importancia en este caso de mergers.

Entonces, podemos concluir que el burst inicial juega un papel importante, y por ello obtenemos un valor un poco distinto desde $t=0$ más cercano al asociado al de $t>250$ s.

El hecho de que los valores sean, como en este caso para el CP, $-9 \cdot 10^{-12}$ y -10^{-11} , son valores parecidos pero nos varía la primera cifra significativa, y por eso hay que quitar la perturbación inicial de enmedio ya que puede inducir bastante error. Para ello, en todas las simulaciones, tomaremos un tiempo mayor de 250 segundos.

Apunte: se ve que para BH que tienen un recoil =0, y una $q=1$, su perfil para $l=2$, $m=\pm 1$, sus partes reales e imaginarias toman valores del orden de 10^{-17} , mientras que si lo tienen con un valor distinto, optan órdenes de 10^{-3} , aunque la resta, que es lo que nos interesa, es de varios órdenes de magnitud menor, de 10^{-6} .

El modo dominante $l=m=2,-2$ adopta en todos los casos un valor de 10^{-2} , se anulan totalmente.

Para $l=3$, $m=\pm 1$, vuelve a pasar que si el recoil=0 y $q=1$, toman valores de 10^{-17} (que es un valor que podemos denominar como cero al ser tan pequeño), pero si no, la resta toma valores de en torno

a 10^{-4} .

Para $l=3$, $m=+-2$, en todos los casos la resta sale del orden de 10^{-2} . En los casos que toma el orden de 10^{-3} , la diferencia que veo se debe al final peak luminosity: aquellos con menores valores del peak luminosity son los que menores valores de la diferencia.

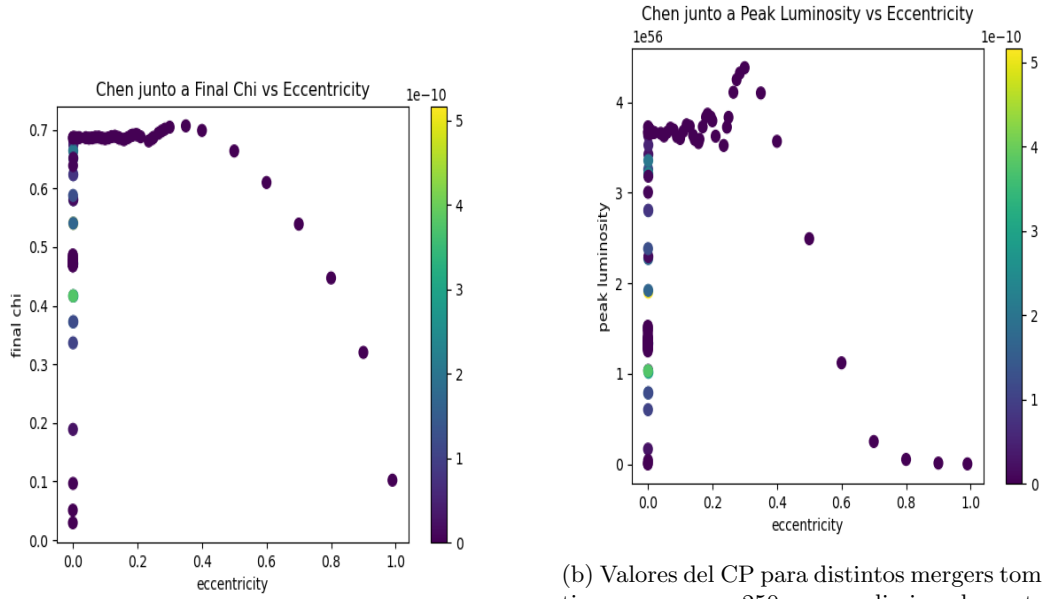
Para $l=3$, $m=+-3$, si $q=1$ y final kick=0, resta del orden de 10^{-16} , y si no toma valores de 10^{-2} .

Para $l=4$, $m=+-1$, final kick=0 con la resta de 10^{-17} ; si no, resta de 10^{-6} , excepto para los que tienen menor valor del peak, que la resta da idénticamente nula.

Para $l=4$, $m=+-2$, $m=+-3$ y $m=+-4$, cero en todos los casos.

2.2 Gráficas

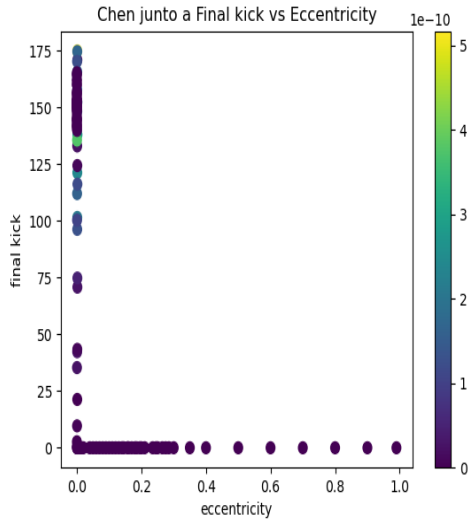
Veamos los mapas de colores para ver cierta relación entre los parámetros:



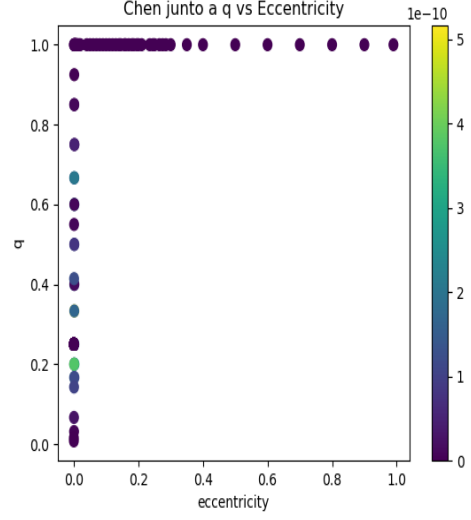
(a) Valores del CP para distintos mergers.

(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 11: Non-spinning.

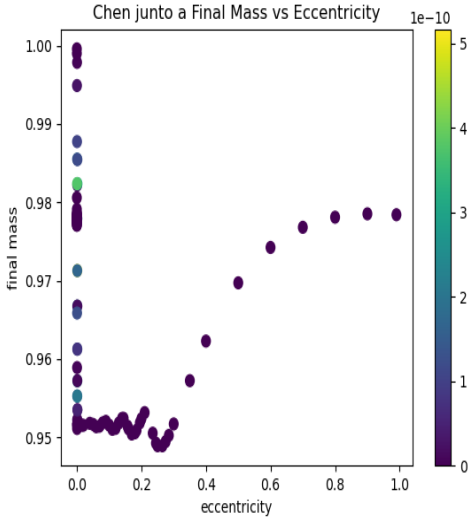


(a) Valores del CP para distintos mergers.

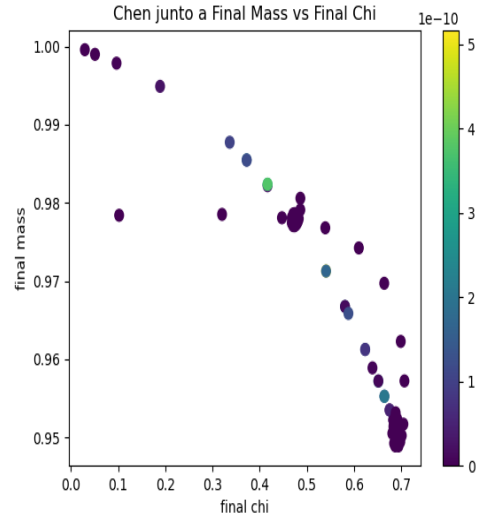


(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 12: Non-spinning.

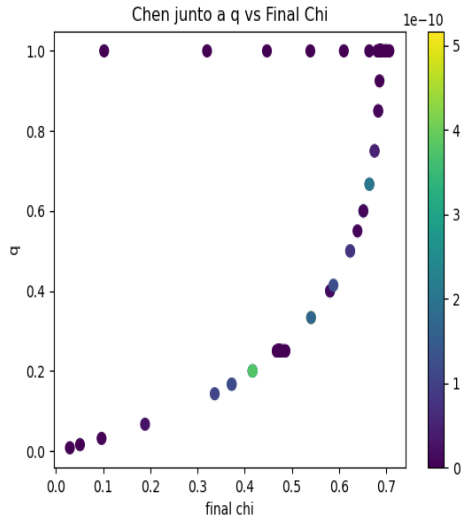


(a) Valores del CP para distintos mergers.

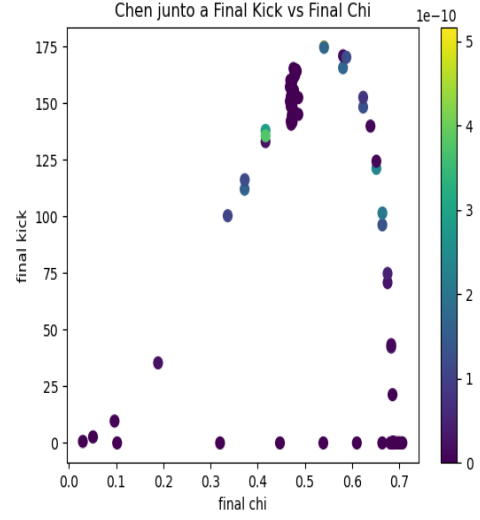


(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 13: Non-spinning.

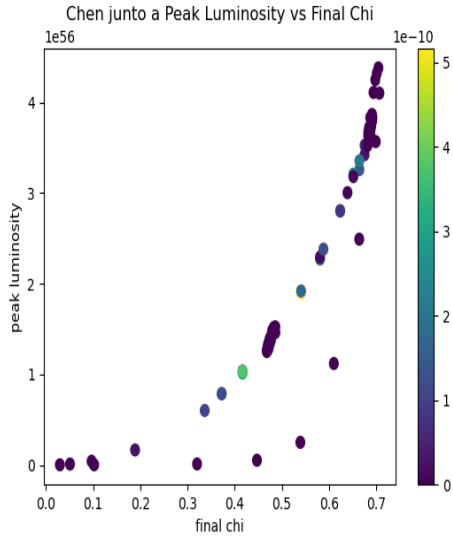


(a) Valores del CP para distintos mergers.

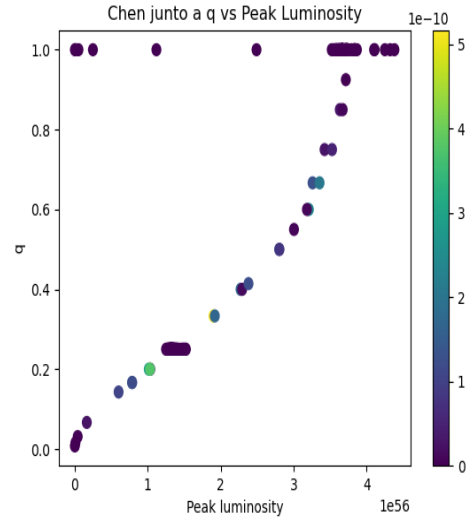


(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 14: Non-spinning.

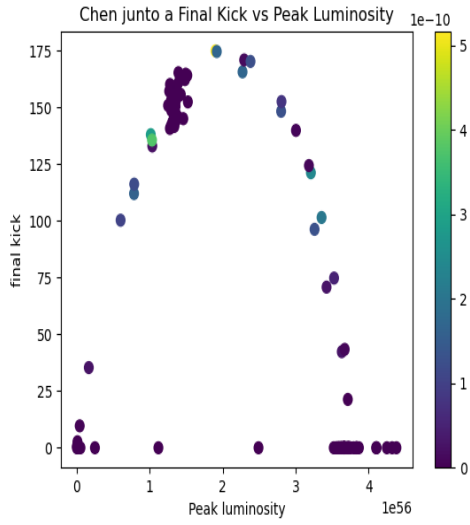


(a) Valores del CP para distintos mergers.

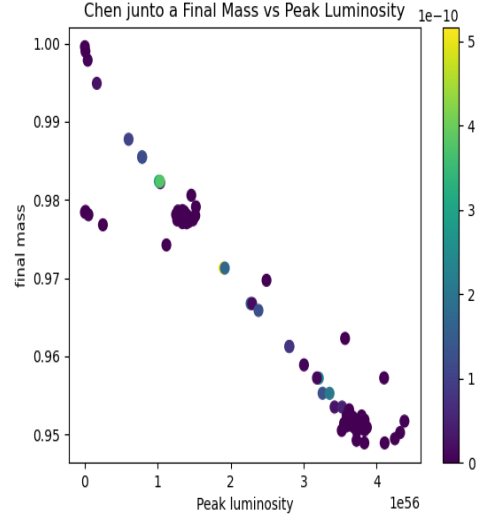


(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 15: Non-spinning.

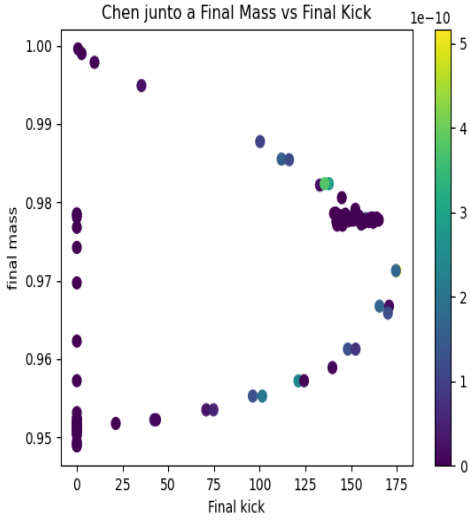


(a) Valores del CP para distintos mergers.

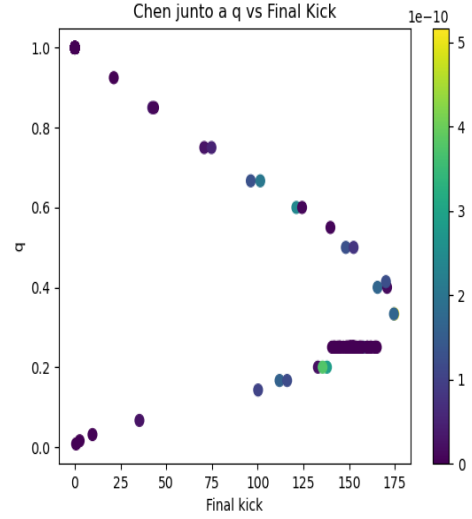


(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 16: Non-spinning.

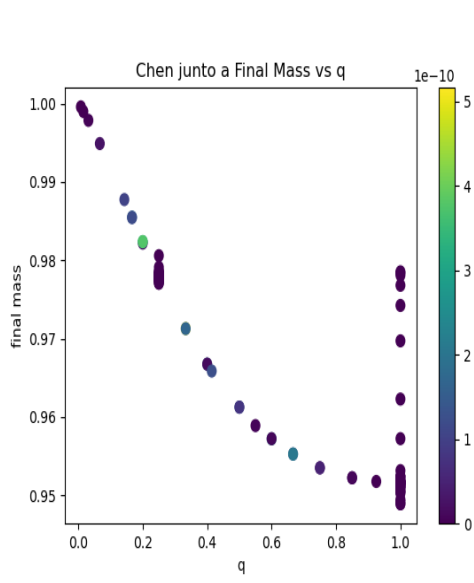


(a) Valores del CP para distintos mergers.

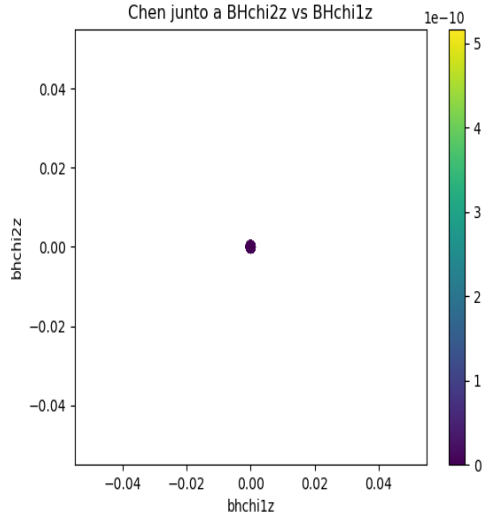


(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 17: Non-spinning.

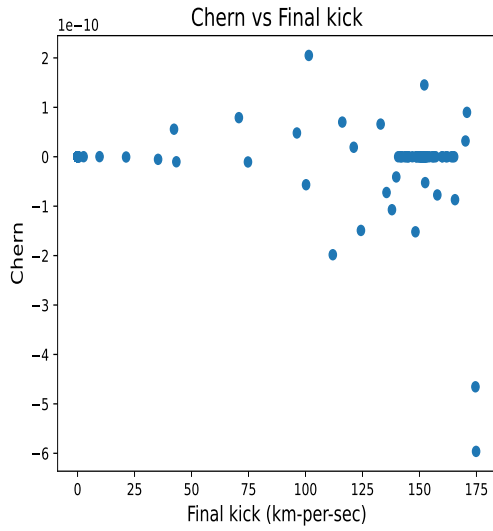


(a) Valores del CP para distintos mergers.

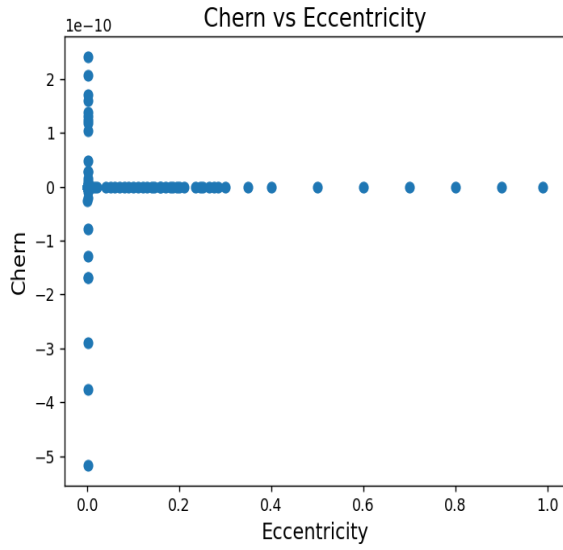


(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 18: Non-spinning.



(a) Valores del CP para distintos mergers.



(b) Valores del CP para distintos mergers tomando un tiempo mayor a 250 s para eliminar la perturbación numérica inicial.

Figure 19: Non-spinning.

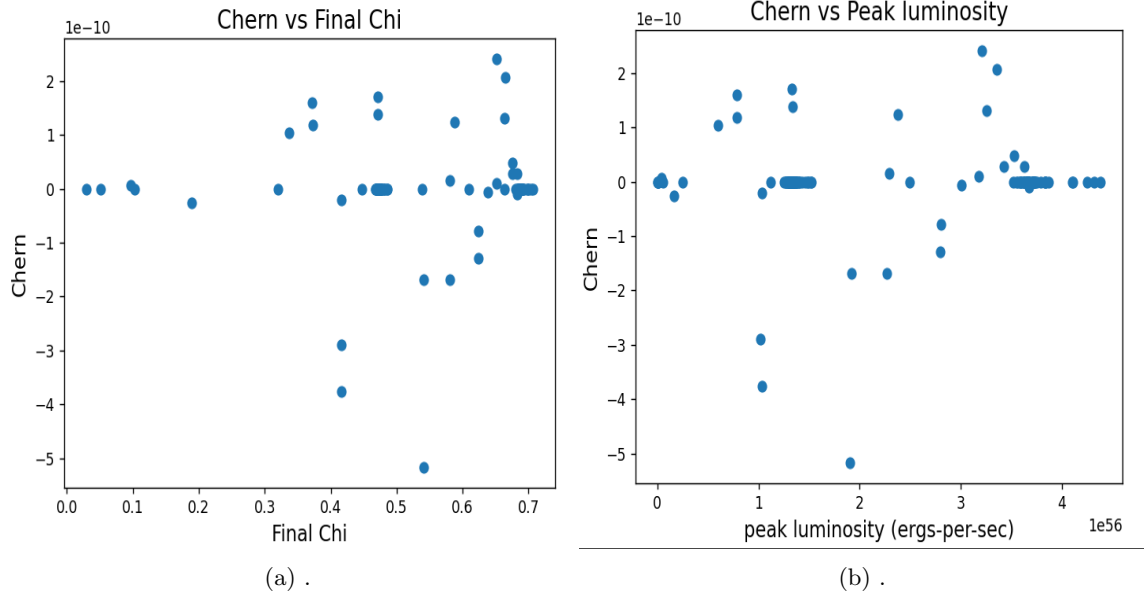


Figure 20: Non-spinning.

Con todas estas imágenes, las de color sobre todo, podemos intuir que no hay una relación clara entre dos variables a la par junto al CP. Por ejemplo, tal y como se puede ver en la Fig. 16b, a menor valor de la final mass, mayor valor del peak luminosity, ya que la masa que falta se ha emitido en forma de ondas gravitatorias (y a mayor masa perdida, mayor energía emitida), pero esto no implica necesariamente un mayor valor del CP.

Es decir, no hay ninguna relación aparente para estos mergers.

3 BH-aligned

Los valores en este caso, también son muy pequeños, pero van del rango entre 10^{-8} y 10^{-12} en principio.

#	0:catalog-tag	1:system-type	2:chern_pontyra
RIT:BBH:0002	Aligned	3.403282173743481e-09	0.0
RIT:BBH:0003	Aligned	-2.5969010077838865e-09	0.0
RIT:BBH:0004	Aligned	-6.58307151305554e-12	0.0
RIT:BBH:0005	Aligned	-1.8911318794815682e-09	0.0
RIT:BBH:0006	Aligned	2.595307665550992e-10	0.0
RIT:BBH:0007	Aligned	1.341051762581482e-09	0.0
RIT:BBH:0008	Aligned	-2.662100148189576e-10	0.0
RIT:BBH:0009	Aligned	3.85437252379949e-09	0.0
RIT:BBH:0010	Aligned	-5.1308163663231e-09	0.0
RIT:BBH:0011	Aligned	-2.166733965446749e-09	0.0
RIT:BBH:0012	Aligned	-3.898342965201266e-10	0.0
RIT:BBH:0013	Aligned	1.5479722531879677e-10	0.0
RIT:BBH:0014	Aligned	1.962851719185553e-08	0.0
RIT:BBH:0015	Aligned	4.433920236481476e-08	0.0
RIT:BBH:0016	Aligned	-1.4812102412018508e-08	0.0
RIT:BBH:0017	Aligned	-2.849373813866371e-10	0.0
RIT:BBH:0018	Aligned	1.3206805852171487e-08	0.0
RIT:BBH:0019	Aligned	1.235356515736677e-09	0.0
RIT:BBH:0020	Aligned	1.8210288843443195e-09	0.0
RIT:BBH:0021	Aligned	9.045787486864731e-09	0.0

(a) Valores del CP para distintos mergers.

(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 21: Aligned.

Hay 4 órdenes de magnitud entre los distintos mergers. Hay que destacar que los aligned giran

pero sólo en la dirección del eje z por convenio, o no giran. Por ejemplo, BH0002 sólo gira uno de ellos con un valor de 0.83, y tiene un kick de 11.07 km/s, dando escalar del orden de 10^{-9} .

3.1 Mergers

En el caso del BH0014, se observa el siguiente perfil para $f(u)$:

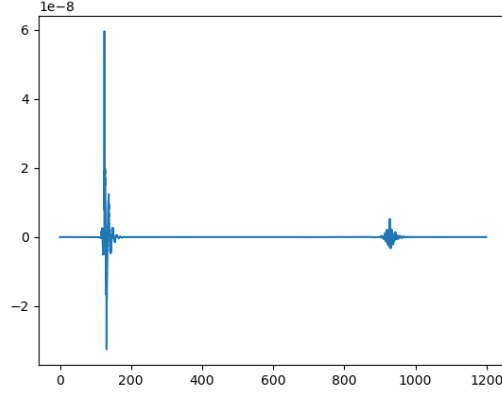


Figure 22: BH0014

Se observa una gran fuente de ruido del burst, conque en estos casos puede llegar a tener incluso más importancia que antes, así que hay que eliminarlo, tal y como ya previsto, aunque ahora con más razón.

Se pueden representar para más mergers, y en bastante de los de este caso por no decir en casi todos, el burst inicial tiene bastante influencia, lo cuál explica porque en la mayoría de los CP disminuye órdenes de magnitud al quitar la contribución de esta parte sin sentido físico.

Los interesantes son los que tienen orden de 10^{-8} como BH0014, 15 Y 16. Estos tres comparten en que el primer agujero negro tiene espin de -0.8, y el segundo 0.8, estando alineados pero girando uno en sentido horario y el otro antihorario. Se podría decir que en este sistema es la manera de romper lo máximo posible la simetría.

En BH0017 están con -0.6 y 0.6, lo cual puede influir también que el valor sea menor. BH0019 también tiene -0.8 y 0.8, aunque da un menor valor, apuesto por el valor de $q = m_1/m_2 = 0.25$, habiendo una "gran" diferencia de masas entre los agujeros negros, y de hecho se ve reflejado en el peak luminosity que es $9.8 \cdot 10^{55}$, cuando lo normal es que sea 10^{56} (cerca, sí, pero se ve reflejada una diferencia).

Otro ejemplo es BH0225, con uno con -0.8755 y el otro con 0.4828, dando un chern $1.18 \cdot 10^{-8}$; mientras que su vecino BH0224 tiene los dos con 0.8, dando $1.99 \cdot 10^{-10}$. El último tiene un perfil análogo al que podemos observar en la Fig. ??, pero con valores en el eje y menores. Por otro lado, para BH0225 se observa:

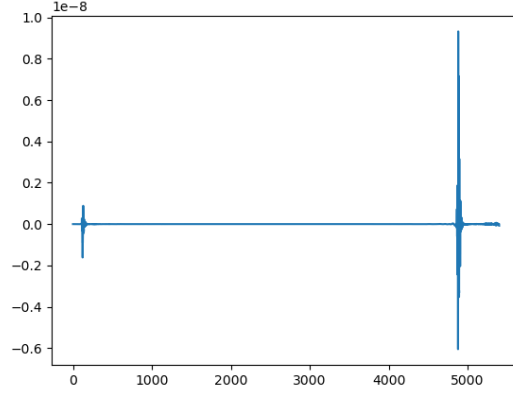


Figure 23: BH0225

Un perfil análogo se ve en BH0300, con los espines desalineados, con 0.5 y -0.85 , y un CP de $1.12 \cdot 10^{-8}$.

Esto nos deja un aparente buen sabor, porque de ambas figuras, ?? y ??, tenemos que para espines desalineados totalmente el chern tomará un máximo, siendo ambos órdenes de magnitud mayor a los que no lo tienen.

Destacar BH0468, con ambos espines de -0.95 , dando un escalar del orden de 10^{-19} , donde estra bastante más en juego el error numérico al tratarse de un valor tan pequeño:

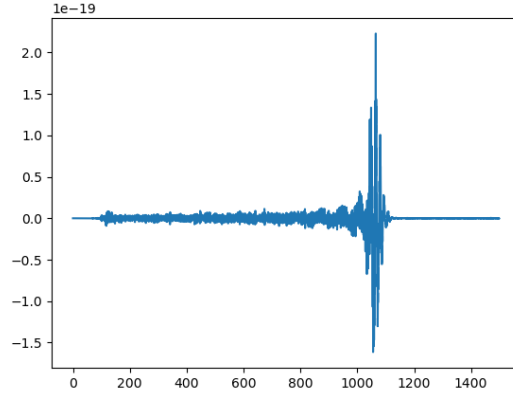
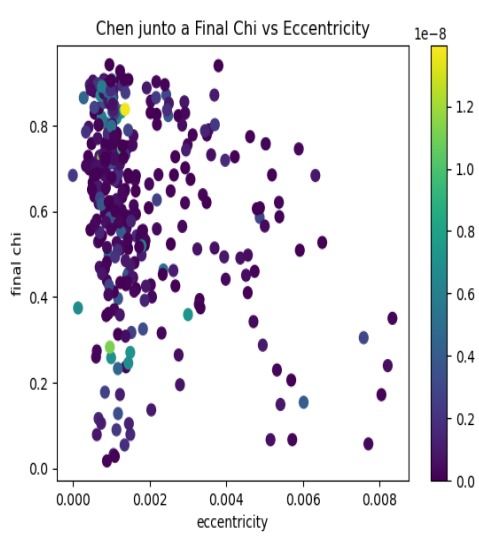


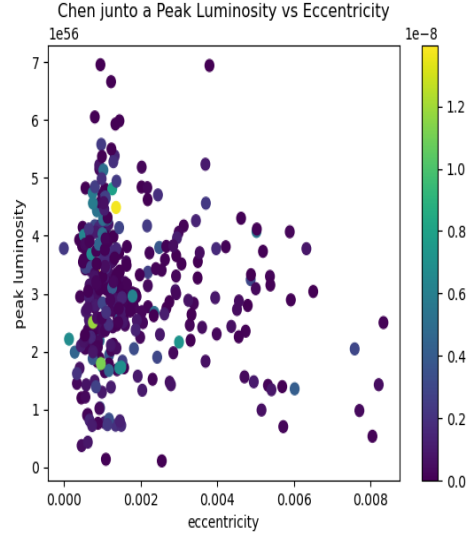
Figure 24: BH0468

3.2 Gráficas

Los color maps serán:

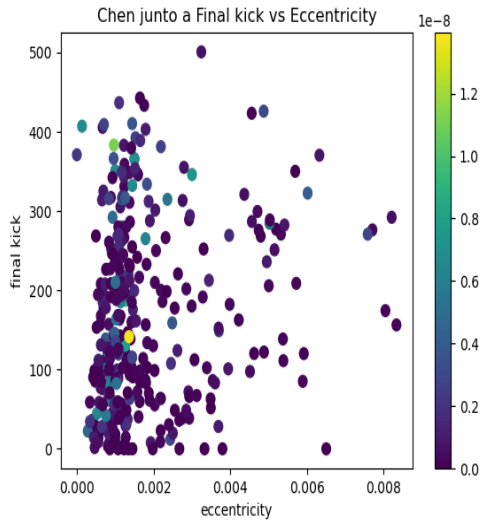


(a) Valores del CP para distintos mergers.

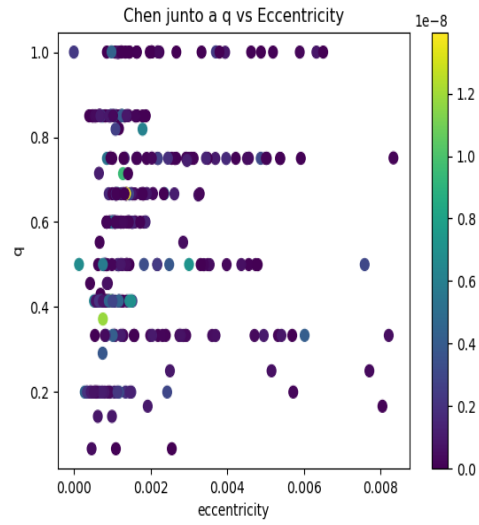


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 25: Aligned.

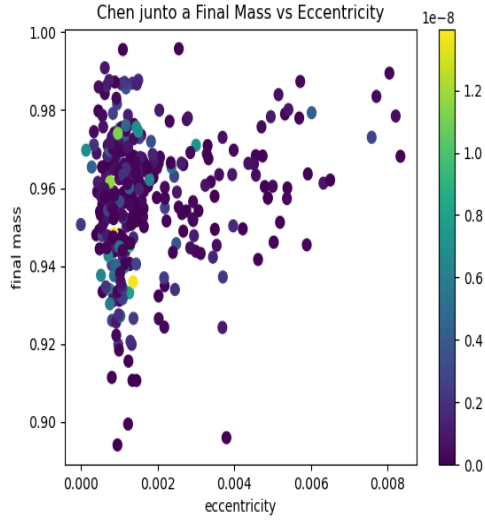


(a) Valores del CP para distintos mergers.

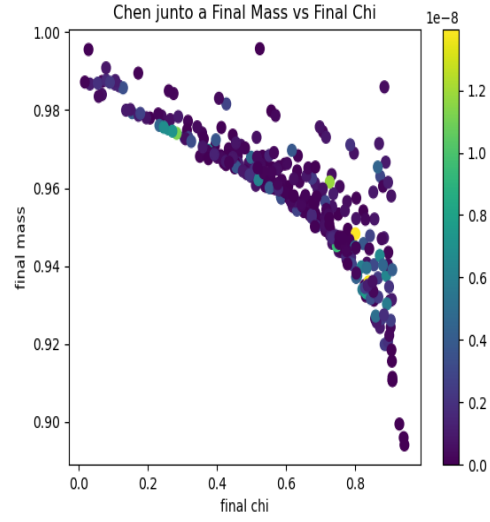


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 26: Aligned.

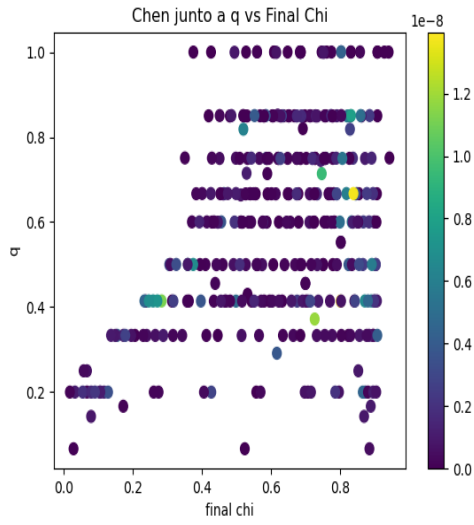


(a) Valores del CP para distintos mergers.

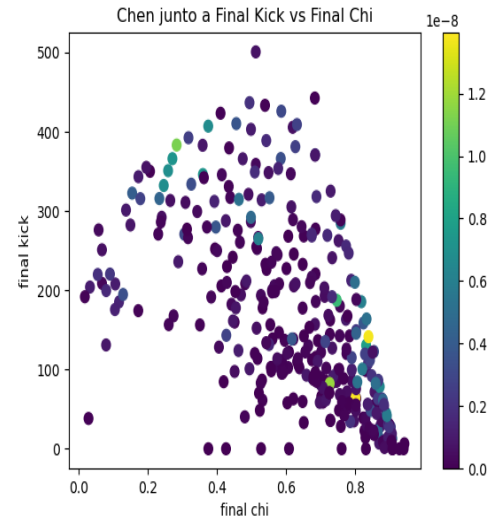


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 27: Aligned.

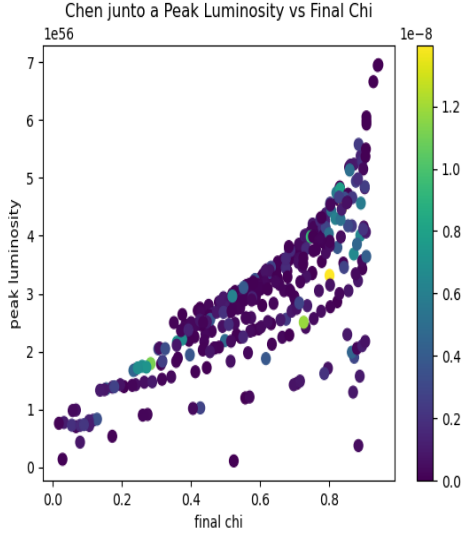


(a) Valores del CP para distintos mergers.

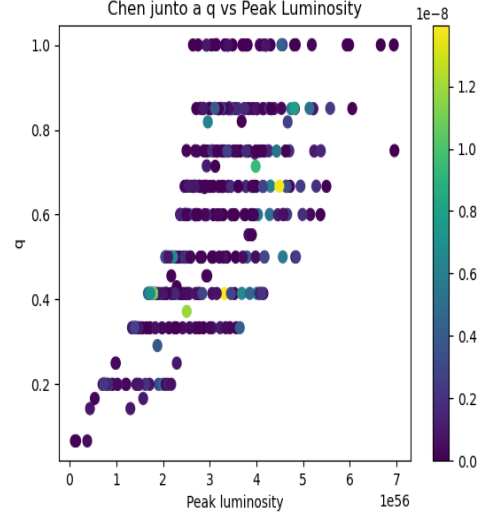


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 28: Aligned.

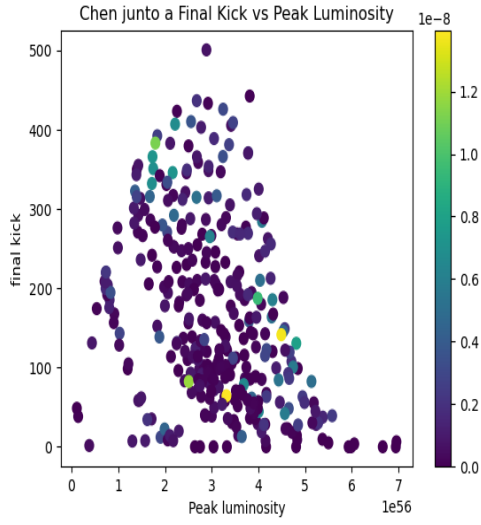


(a) Valores del CP para distintos mergers.

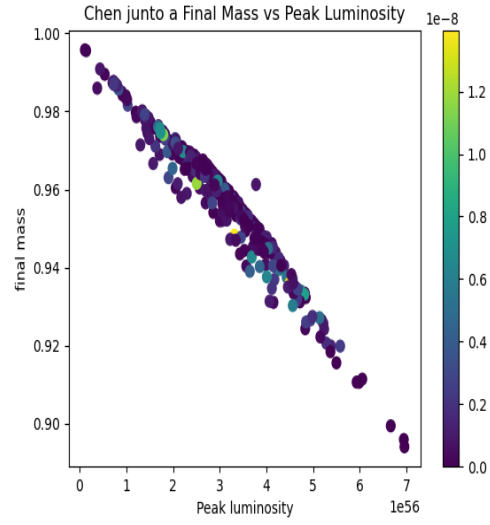


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 29: Aligned.

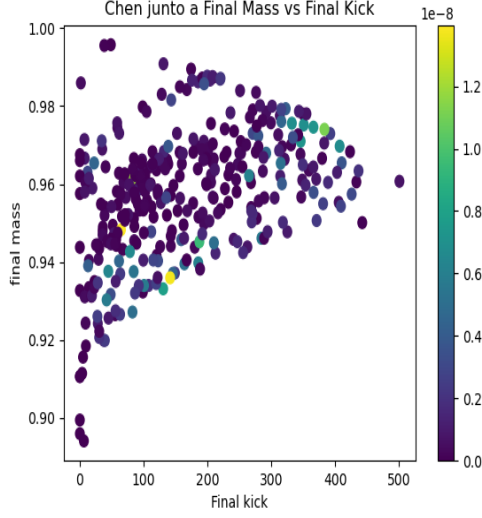


(a) Valores del CP para distintos mergers.

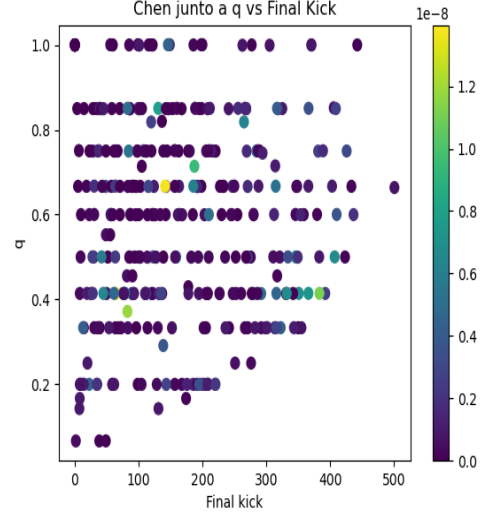


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 30: Aligned.

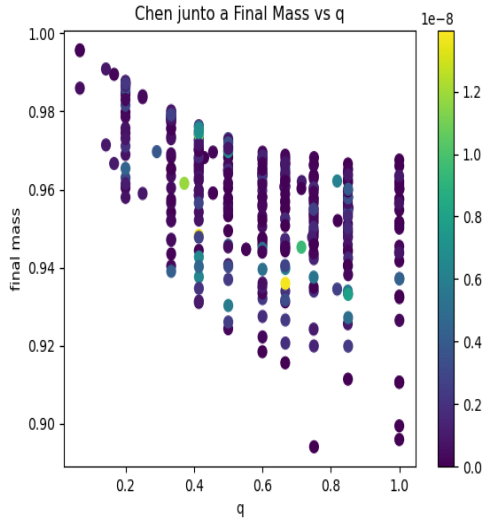


(a) Valores del CP para distintos mergers.

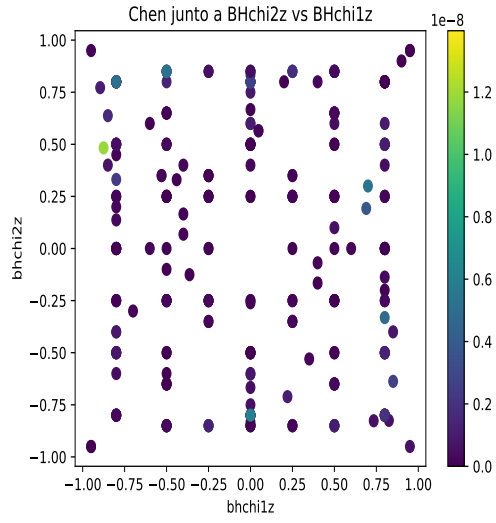


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 31: Aligned.



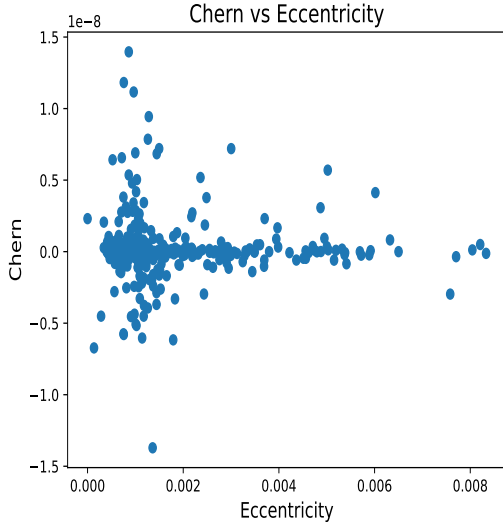
(a) Valores del CP para distintos mergers.



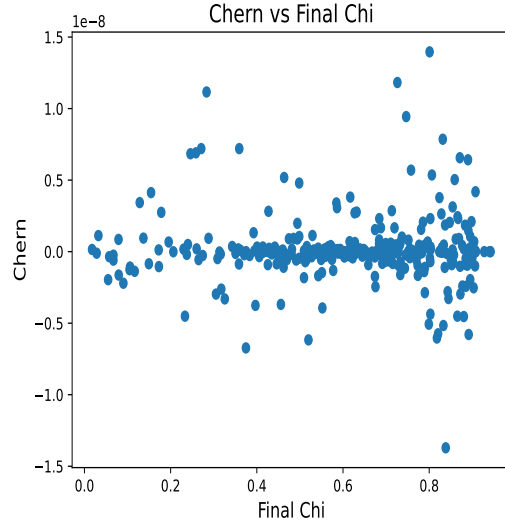
(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 32: Aligned.

Entonces, podemos ir representando para los distintos valores:

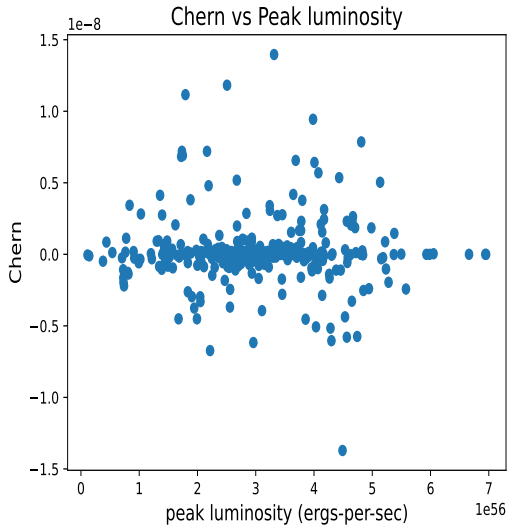


(a) Valores del CP para distintos mergers.

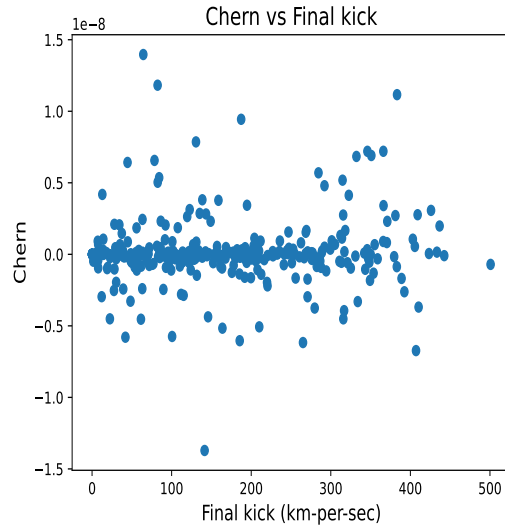


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 33: Aligned.



(a) Valores del CP para distintos mergers.



(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 34: Aligned.

Se observa, si prestamos bastante atención, unos tonos más azulados en las partes en los que los espines están desalineados, sobre todo en la parte superior izquierda de la Figura 32b, y se aprecia un poco en la parte inferior derecha. No es una gran diferencia, pero nos podría guiar a querer creerlo.

4 BH-precessing

A simple vista ya se ven unos valores mucho mayores para los precessing:

# 0:catalog-tag 1:system-type 2:chern_pontryagi	# 0:catalog-tag 1:system-type 2:chern_pontryagi
RIT:BBH:0038 Precessing 0.00034557615804042103	RIT:BBH:0038 Precessing 0.0003455602161013605 0
RIT:BBH:0122 Precessing -4.71932355554928e-05	RIT:BBH:0128 Precessing -0.00017588197359123394
RIT:BBH:0123 Precessing -0.00015490265993436044	RIT:BBH:0129 Precessing -0.0001092640172581107
RIT:BBH:0124 Precessing 8.507653514165016e-05	RIT:BBH:0130 Precessing 0.00019060443509561845
RIT:BBH:0125 Precessing 5.333095463820385e-05	RIT:BBH:0131 Precessing -0.00010847567714280405
RIT:BBH:0126 Precessing 6.492235766760792e-05	RIT:BBH:0132 Precessing 0.0001700079527561631 0
RIT:BBH:0127 Precessing 0.0002442077760792953	RIT:BBH:0136 Precessing 4.662541240834951e-05
RIT:BBH:0128 Precessing -0.0001770201950603395	RIT:BBH:0137 Precessing 0.00016562157420150963
RIT:BBH:0129 Precessing -0.00010990871859719193	RIT:BBH:0167 Precessing 0.0001592404730907623 0
RIT:BBH:0130 Precessing 0.0001886221215815969	RIT:BBH:0168 Precessing 4.033461903590358e-05
RIT:BBH:0131 Precessing -0.00010964936930060937	RIT:BBH:0122 Precessing -4.2156820824299895e-05
RIT:BBH:0132 Precessing 0.00016941992596765715	RIT:BBH:0123 Precessing -0.00015942190913029354
RIT:BBH:0136 Precessing 4.6419262686427295e-05	RIT:BBH:0124 Precessing 8.643332631760753e-05
RIT:BBH:0137 Precessing 0.00016551097212784999	RIT:BBH:0125 Precessing 5.704530289997356e-05
RIT:BBH:0167 Precessing 0.0001538531180237972	RIT:BBH:0126 Precessing 6.631666674929378e-05
RIT:BBH:0168 Precessing 3.1569261740017174e-05	RIT:BBH:0127 Precessing 0.0002452689701091158
RIT:BBH:0230 Precessing 0.00013682757892177798	RIT:BBH:0230 Precessing 0.0001358136084985275
RIT:BBH:0231 Precessing 0.0001160665186146782	RIT:BBH:0231 Precessing 0.00011219664223519507
RIT:BBH:0233 Precessing 7.735419965508854e-05	RIT:BBH:0233 Precessing 7.154467435712155e-05
RIT:BBH:0234 Precessing 2.3037307173524518e-05	RIT:BBH:0234 Precessing 1.6866304565601682e-05
RIT:BBH:0235 Precessing -5.658567387511466e-05	RIT:BBH:0235 Precessing -6.13384306062436e-05

(a) Todo el tiempo

(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 35: Aligned.

de entorno al orden de 10^{-4} y 10^{-5} .

4.1 Mergers

Al eliminar el burst inicial, cambia en la mayoría de casos la tercera cifra significativa, por lo que ya comenzamos a ver una aportación mucho menor que en los dos casos anteriores. En algunos como BH0130, si CP es $1.886 \cdot 10^{-4}$, es normal que si cambia la tercera cifra significativa, pase a valer $1.906 \cdot 10^{-4}$, ya que ha variado poco, pero parece que en realidad ha variado más. Su $f(u)$ es:

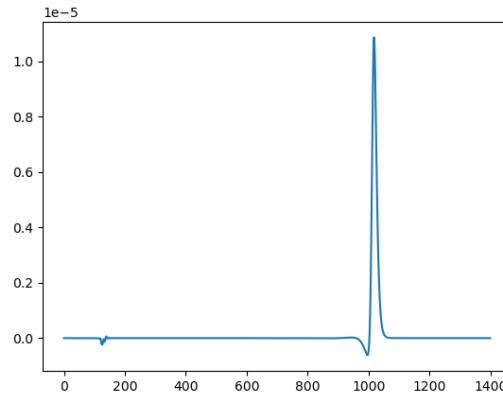


Figure 36: BH0130

En estos casos, la aportación del burst inicial es irrelevante, aunque nos podríamos preguntar como se ven los distintos modos:

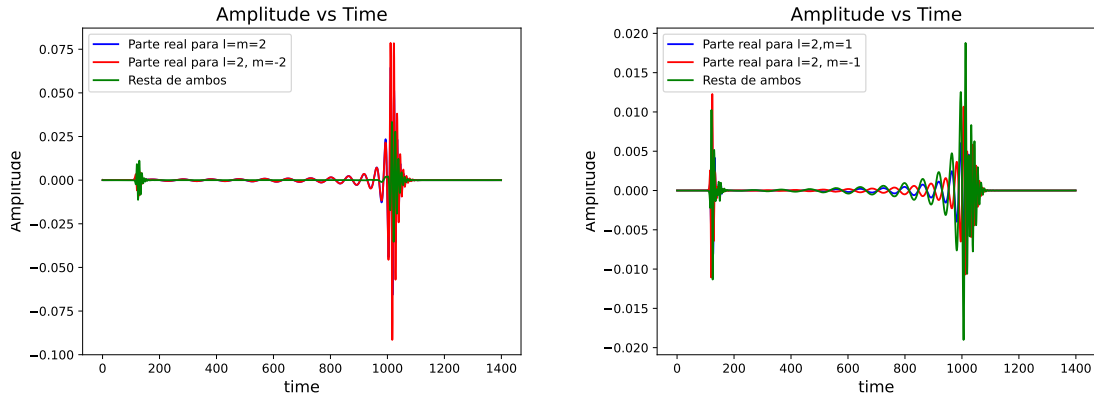


Figure 37: BH0130

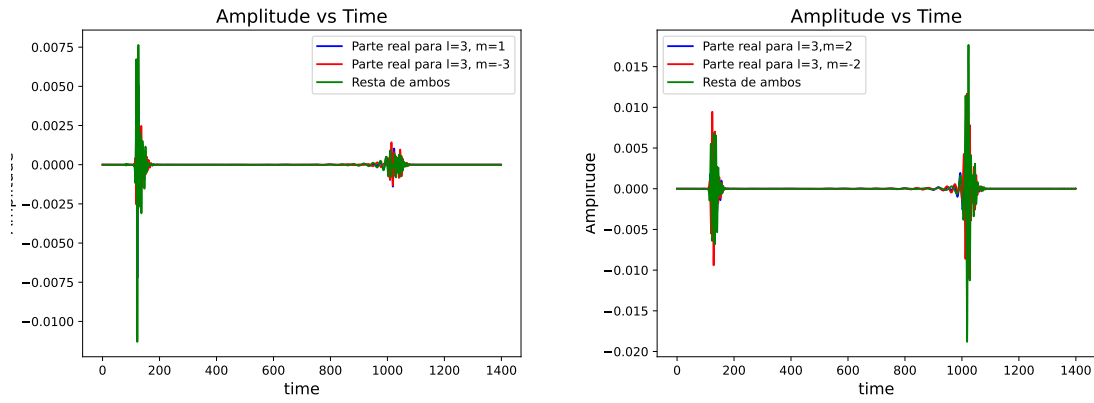


Figure 38: BH0130

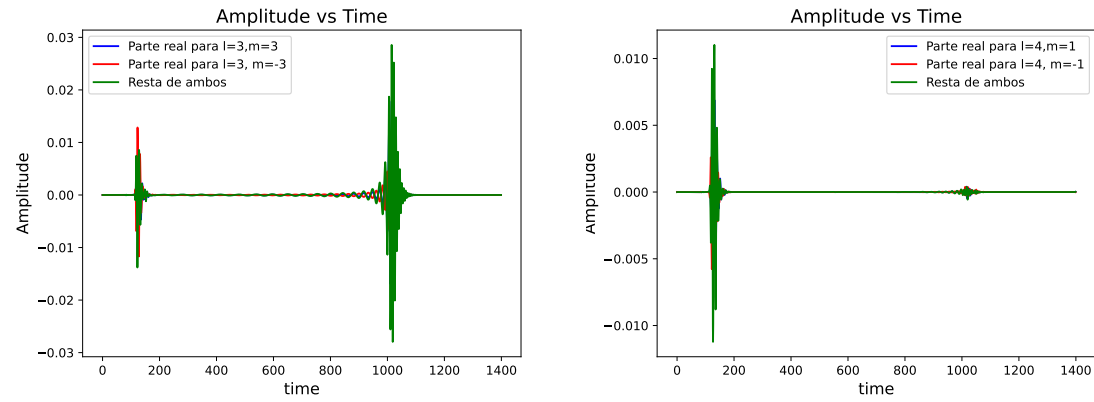


Figure 39: BH0130

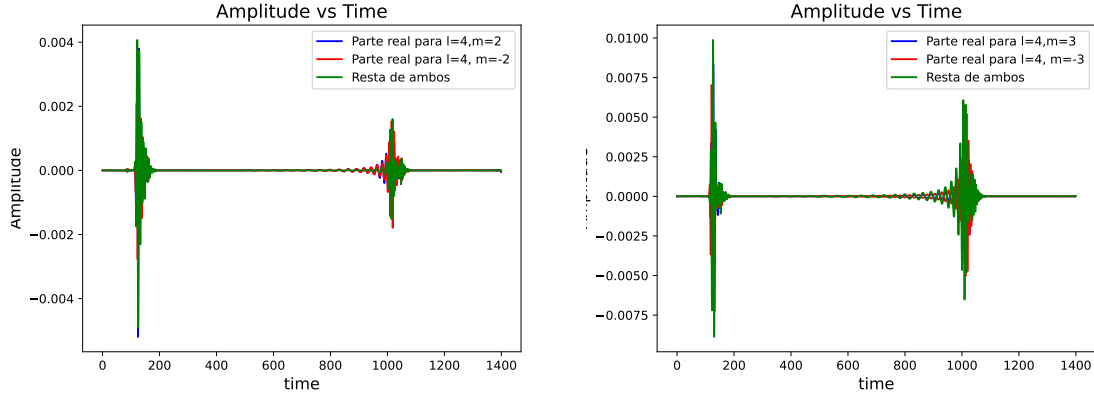


Figure 40: BH0130

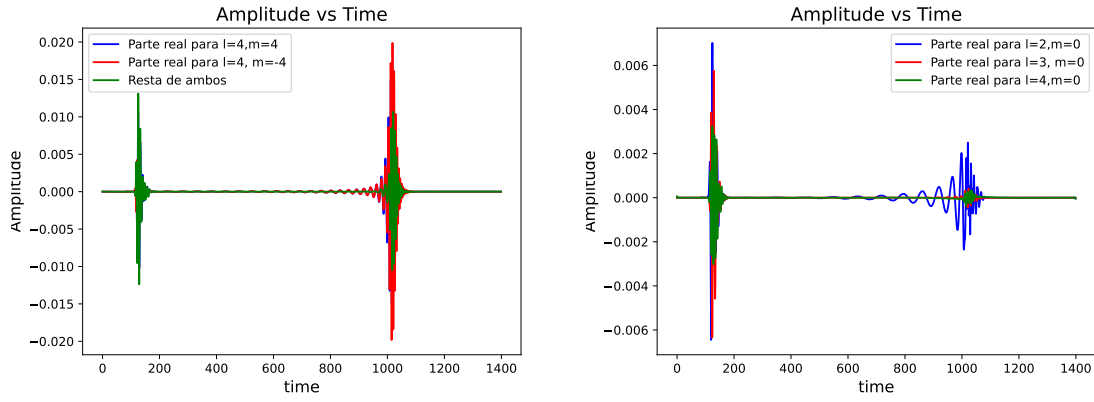


Figure 41: BH0130

Podemos ver que son más distintos de lo que uno podría pensar si vamos uno a uno, y no se anulan yendo a pares ni nada. Sin embargo, al hallar la $f(u)$, la aparente gran aportación del burst en algunos modos se acaban anulando y se convierte en algo muy diminuto.

Hay casos donde el CP parece que varía más, como en BH0168, que pasa de $3.157 \cdot 10^{-5}$ a $4.033 \cdot 10^{-5}$. Si representamos $f(u)$:

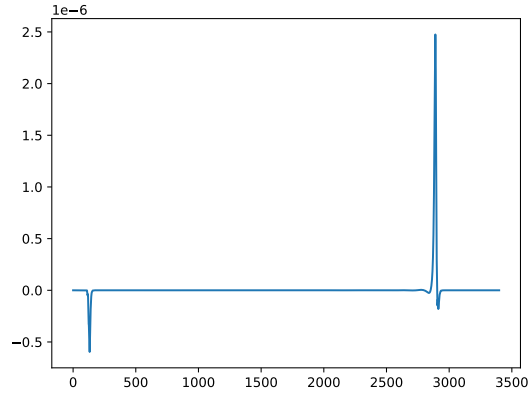


Figure 42: BH0168

Donde toma una importancia mayor. Esto también pasa con BH0234, por ejemplo. Veamos sus modos:

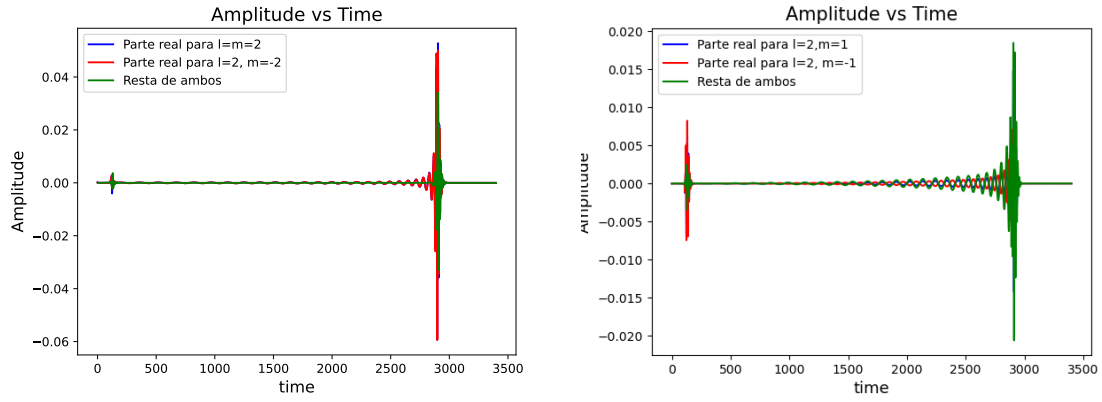


Figure 43: BH0168

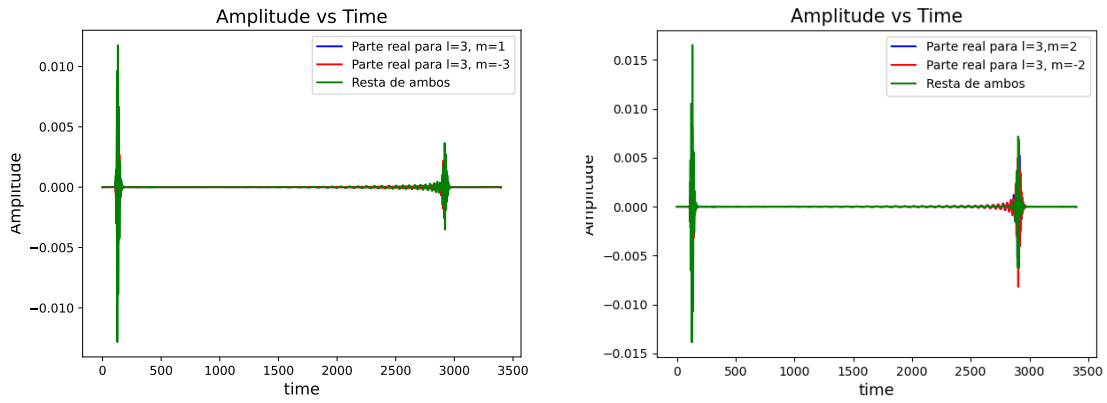


Figure 44: BH0168.

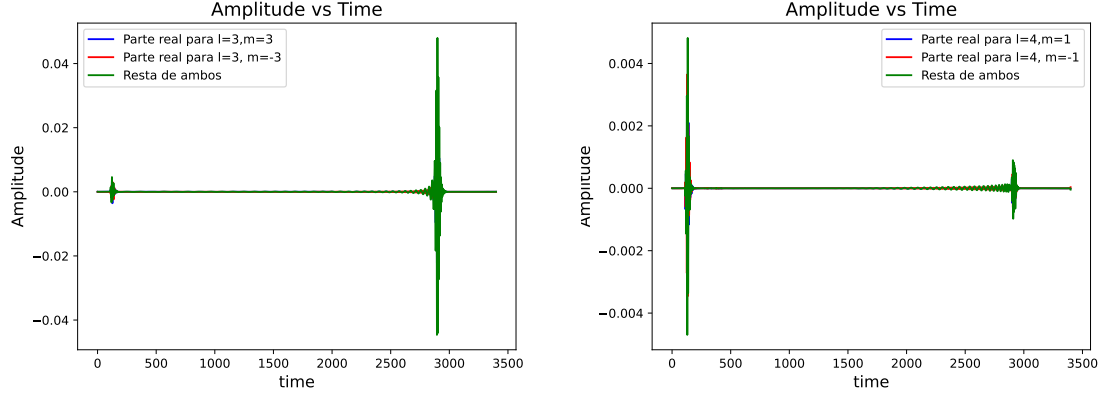


Figure 45: BH0168.

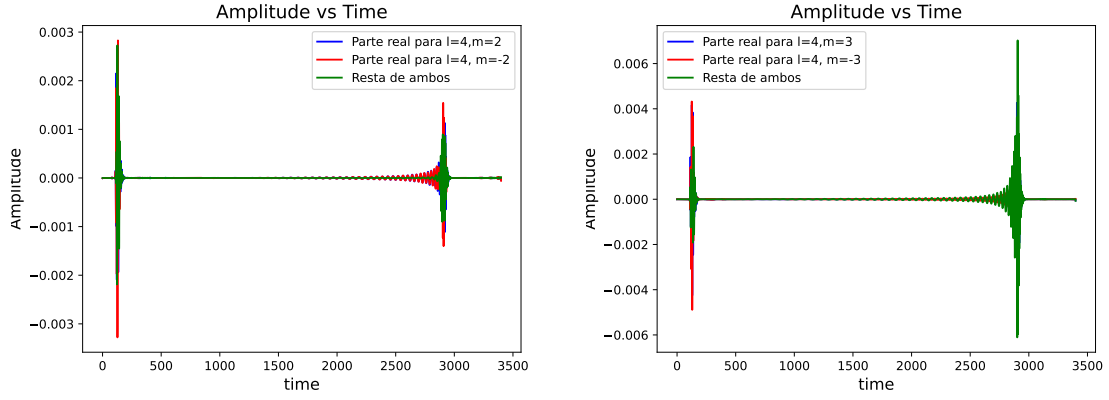


Figure 46: BH0168.

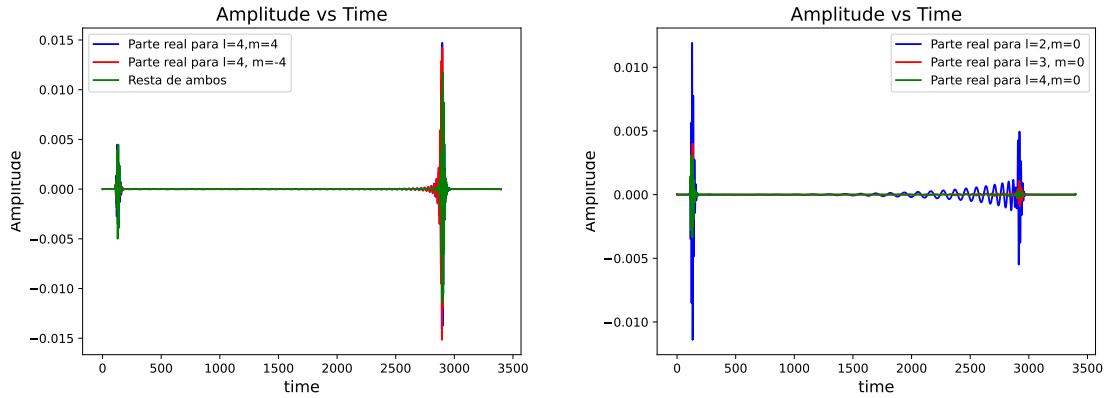


Figure 47: BH0168.

Toma una relevancia importante en todos los casos, aunque sea poca. Como era de esperar, en el 'modo fundamental' $m=l=2$ y $l=-2$, es donde menos aporta, seguido por $l=3$ y $m=+3$.

Se ven perfiles parecidos en ambos mergers, pero llevan a aportaciones muy distintas del burst. No veo ninguna propiedad relevante o asociado con los espines para que el burst tenga una mayor o menor

aportación. Lo único por donde podría tirar es que en los casos donde el CP es menor (que veremos que está asociado con menores valores de la luminosidad, kick o masa final, entre otros) puede haber mayor fuente de error debido al programa: con menor me refiero a que como son del orden de 10^{-5} , ahora se verá afectada la segunda cifra significativa, que puede conllevar a cambios de una unidad en la primera cifra.

Entonces, al igual que en los otros dos casos, nos limitaremos a $t > 250$ s.

Destacar el eBH1632 con un CP de $-1.203 \cdot 10^{-11}$, con ambos espines mirando en la dirección positiva del eje z con un valor de 0.7. Esto nos confirma que incluso los mergers de agujeros negros precessing pero alineados nos da un valor 'nulo' del CP (unos 6 órdenes de magnitud menor). Su $f(u)$ toma la forma:

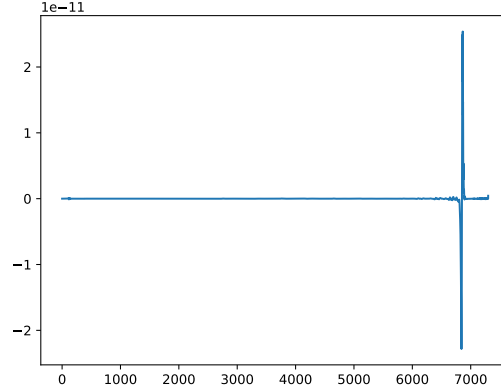
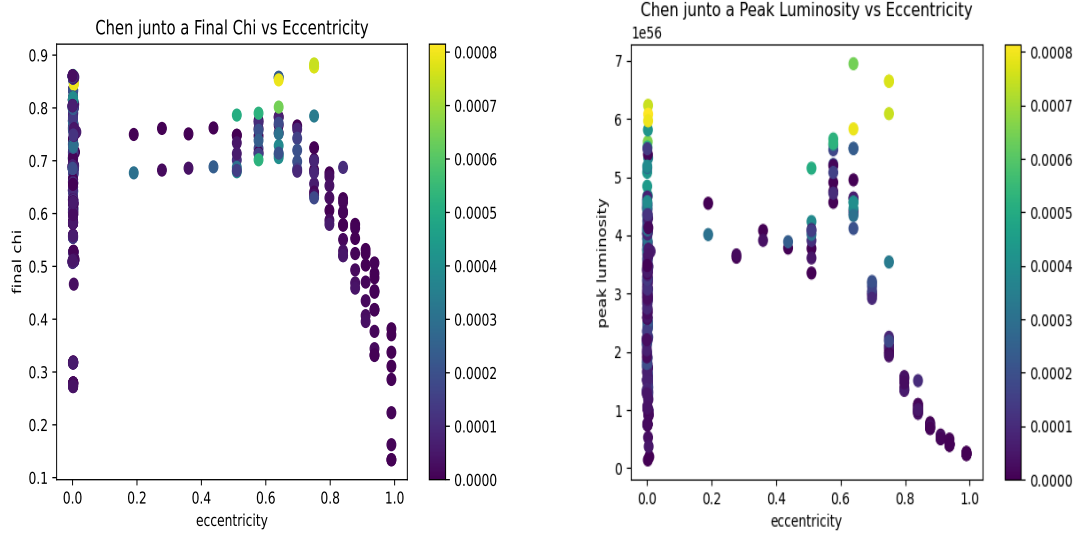


Figure 48: eBH1632

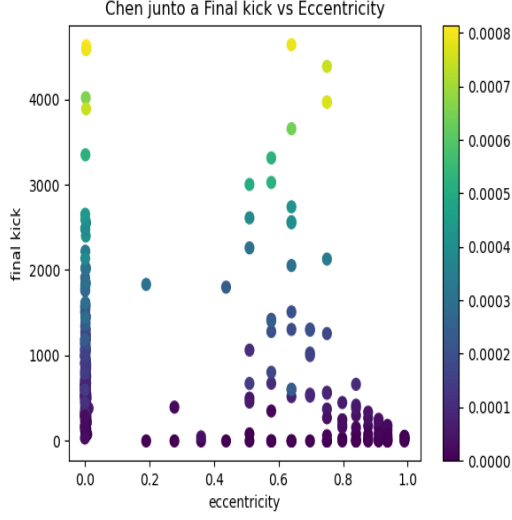
4.2 Gráficas



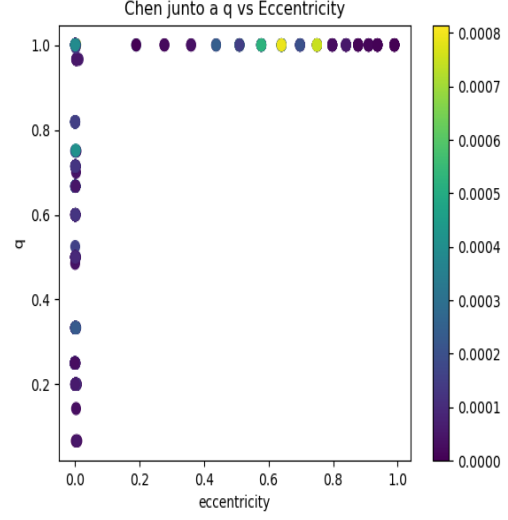
(a) Valores del CP para distintos mergers.

(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 49: Precessing.

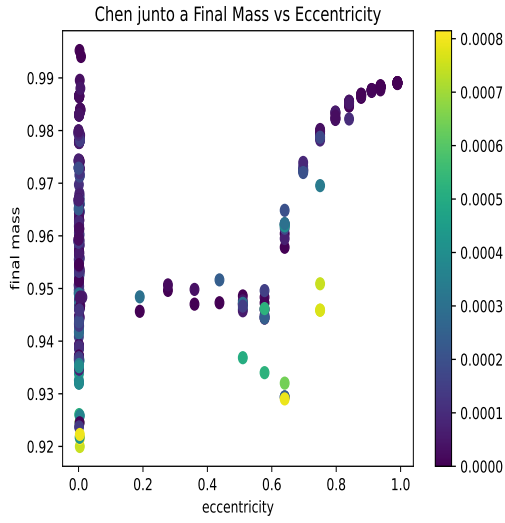


(a) Valores del CP para distintos mergers.

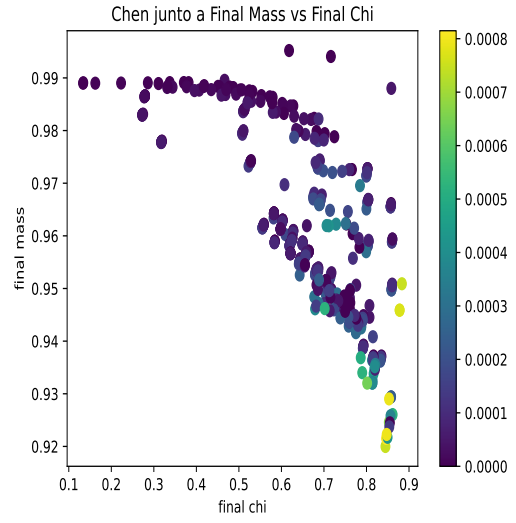


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 50: Precessing.

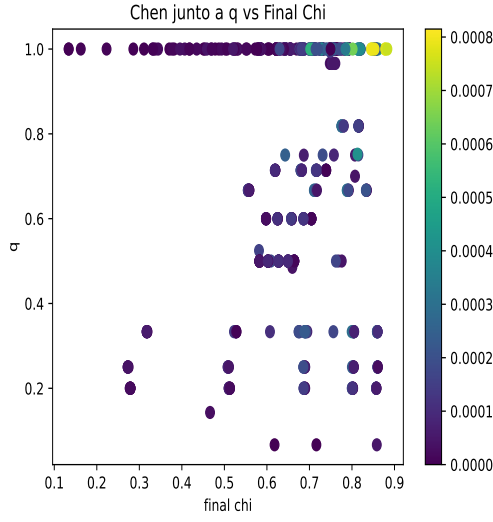


(a) Valores del CP para distintos mergers.

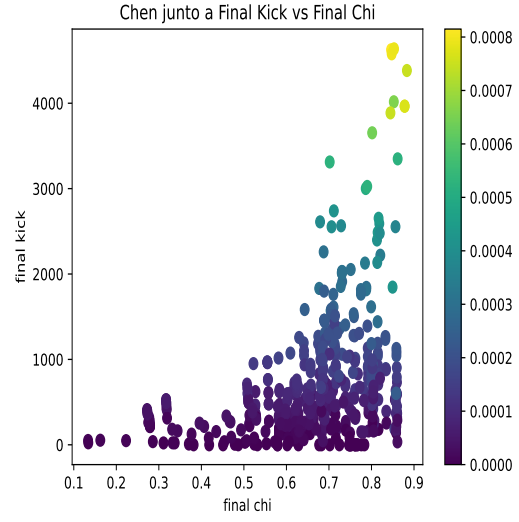


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 51: Precessing.

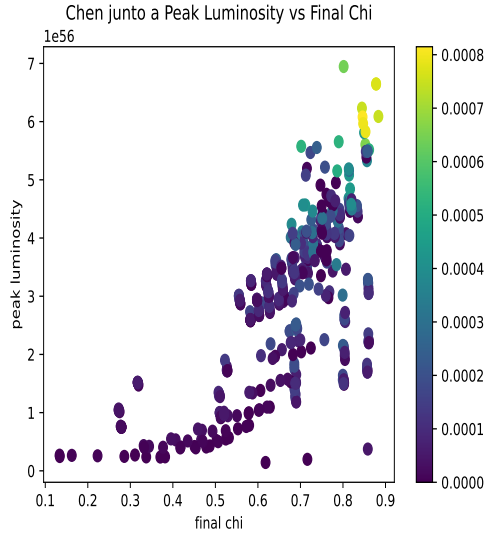


(a) Valores del CP para distintos mergers.

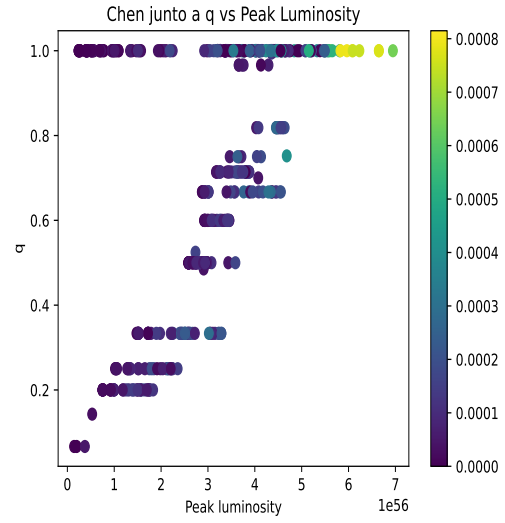


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 52: Precessing.

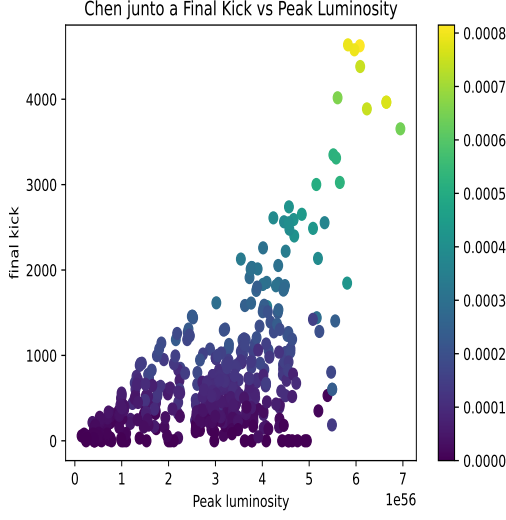


(a) Valores del CP para distintos mergers.

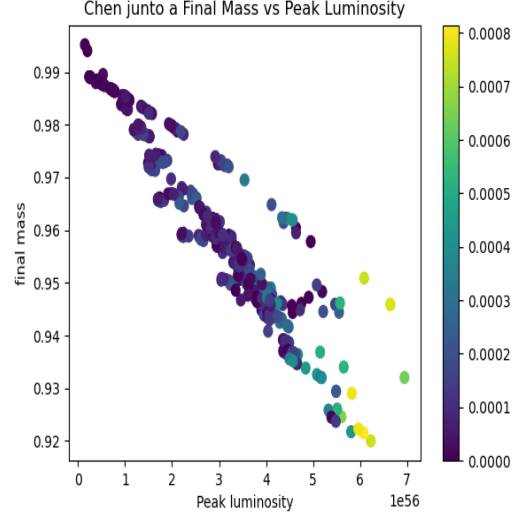


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 53: Precessing.

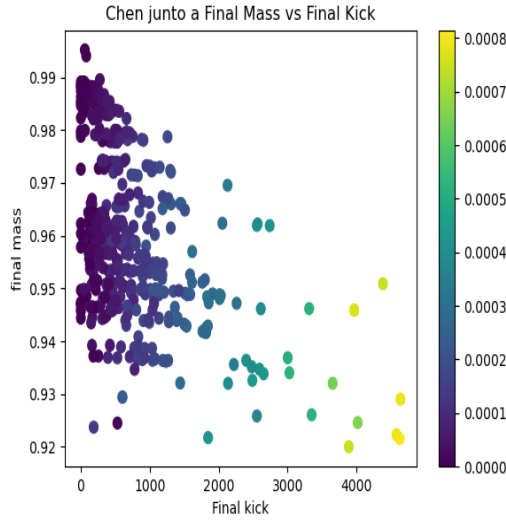


(a) Valores del CP para distintos mergers.

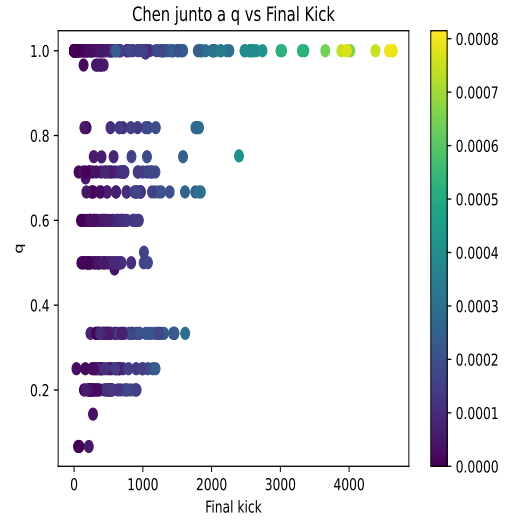


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 54: Precessing.



(a) Valores del CP para distintos mergers.



(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 55: Precessing.

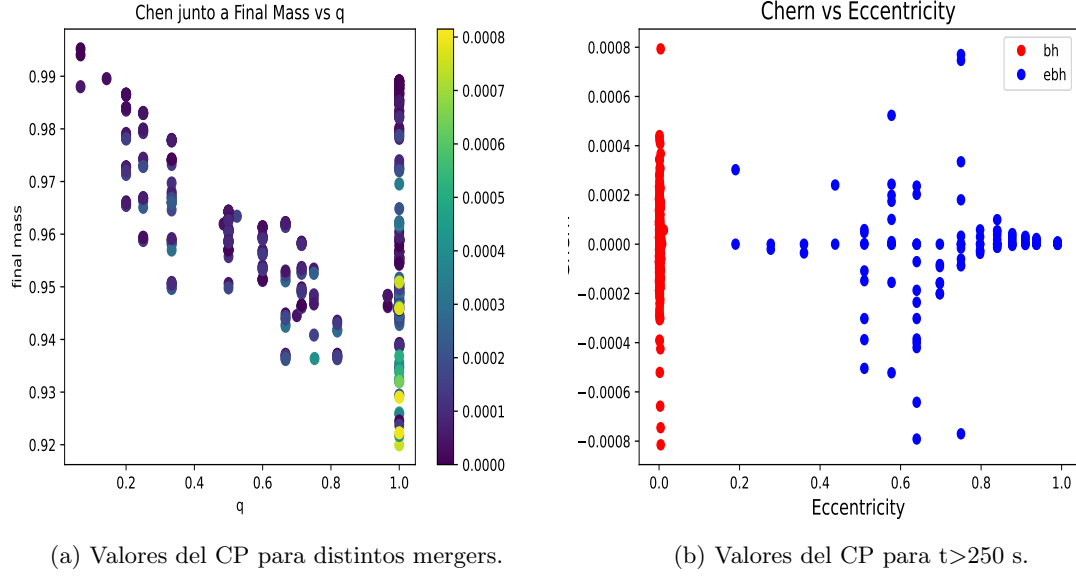


Figure 56: Precessing.

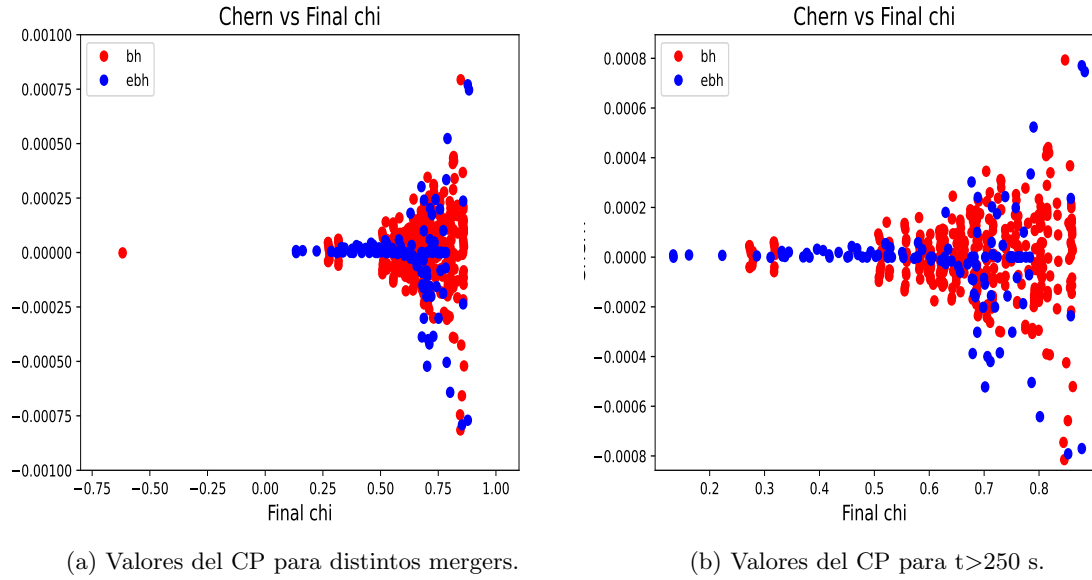


Figure 57: Precessing.

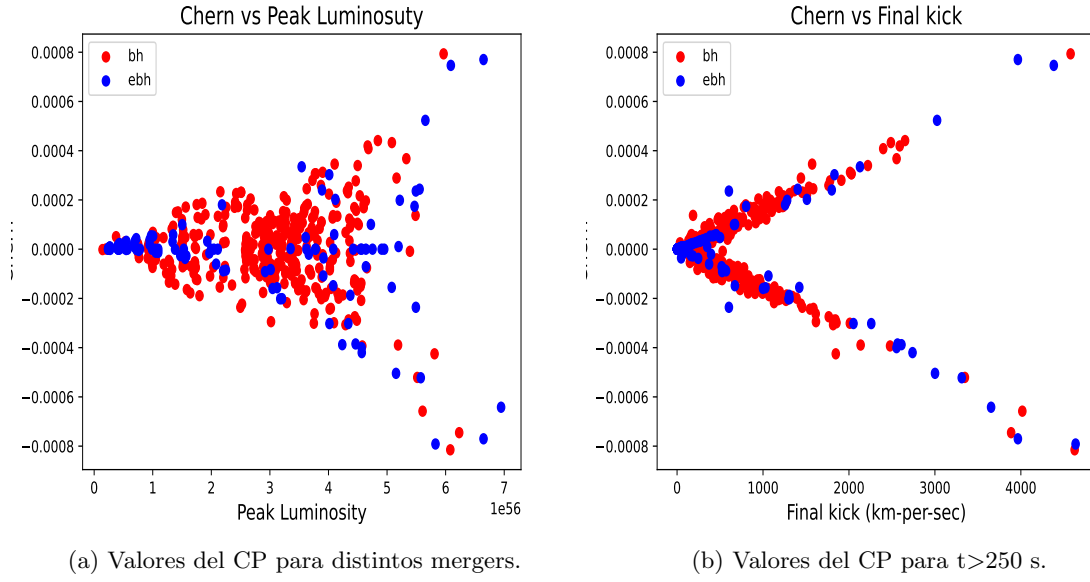


Figure 58: Precessing.

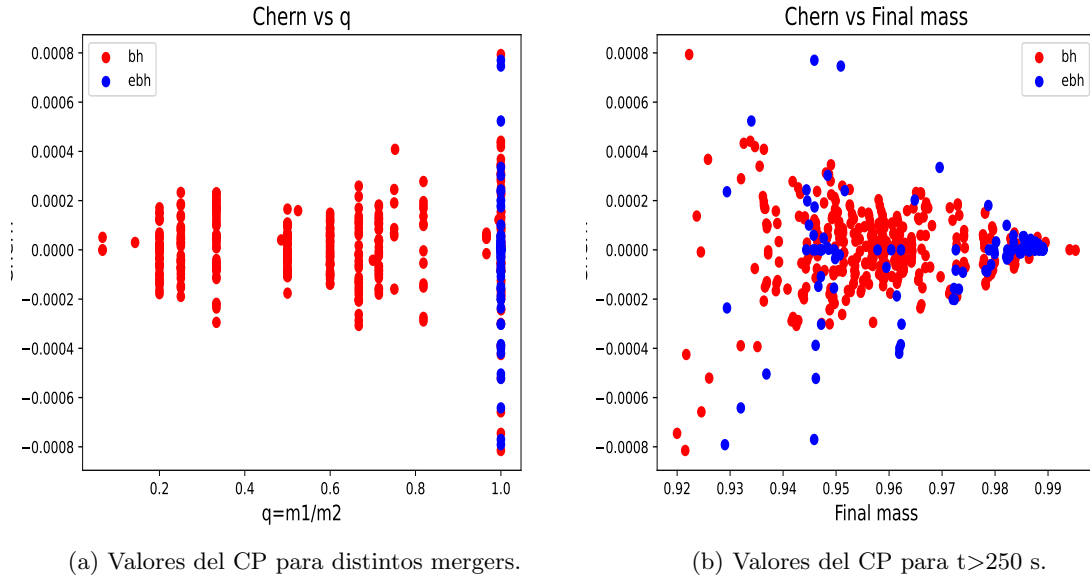


Figure 59: Precessing.

Así a comentar por encima, relaciones bonitas como nos esperábamos, aunque me llama la atención la Fig. 54b, donde se ven dos tendencias diferenciadas, asociadas a los ebh y los bh. Tal y como se ve en Fig. 67b, los ebh se desvían más que los bh de la tendencia (les echaré un ojo más en detalle).

4.3 Graficas- Sólo mergers quasi bh

Si sólo representamos todas estas magnitudes para bh:

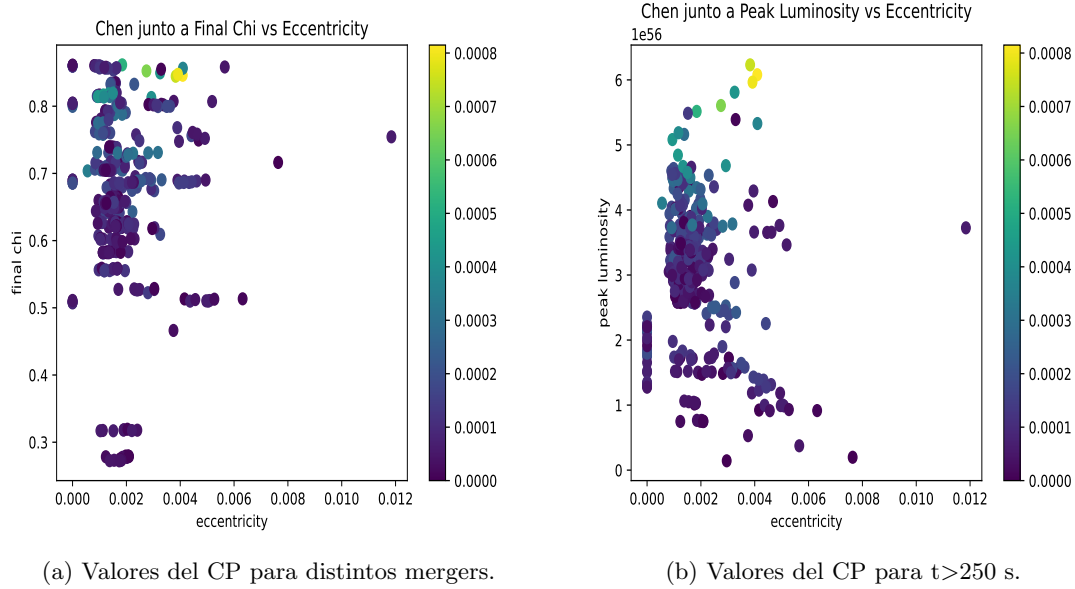


Figure 60: Precessing.

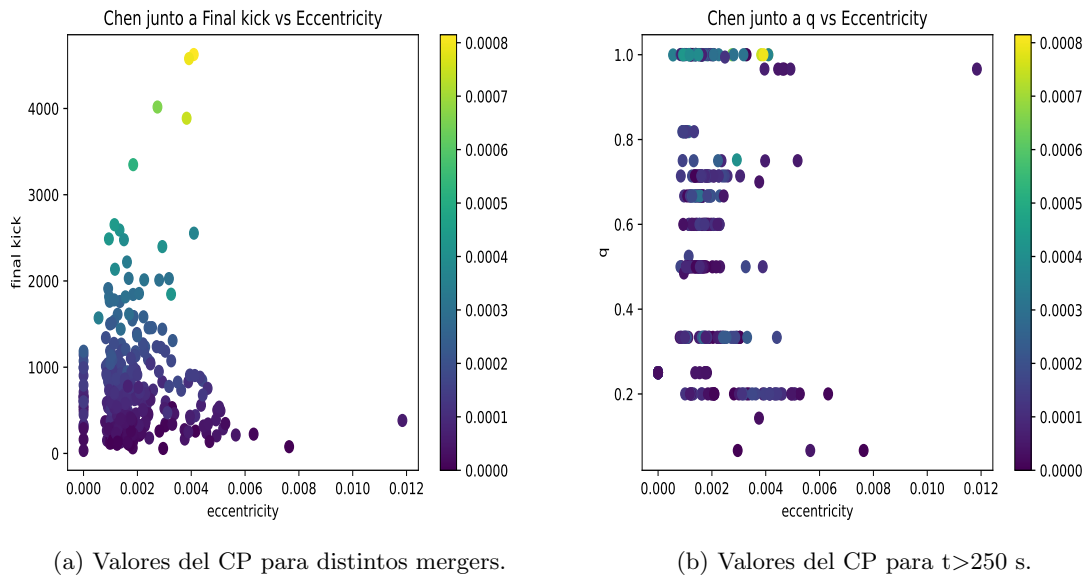
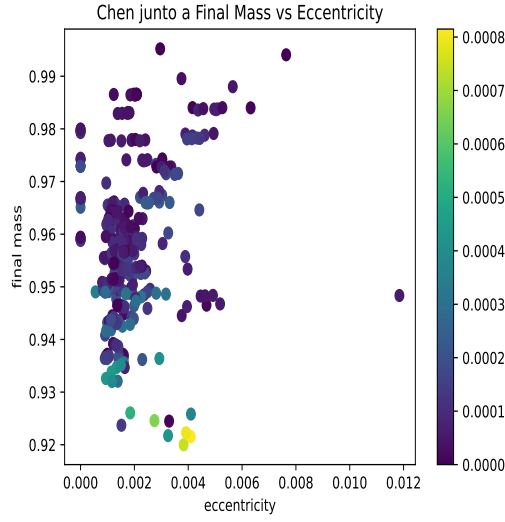
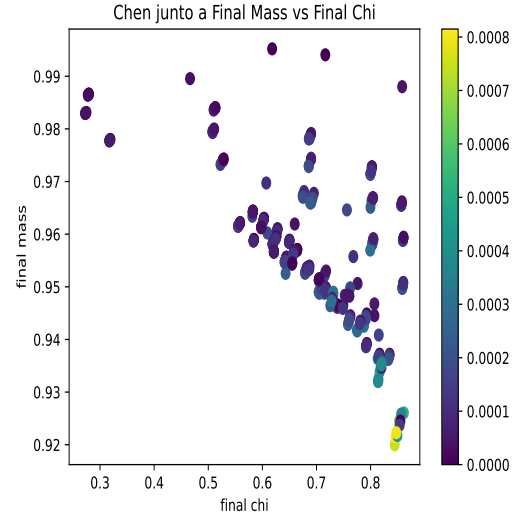


Figure 61: Precessing.

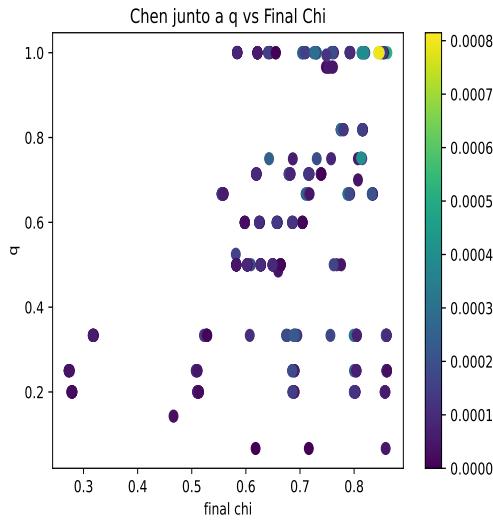


(a) Valores del CP para distintos mergers.

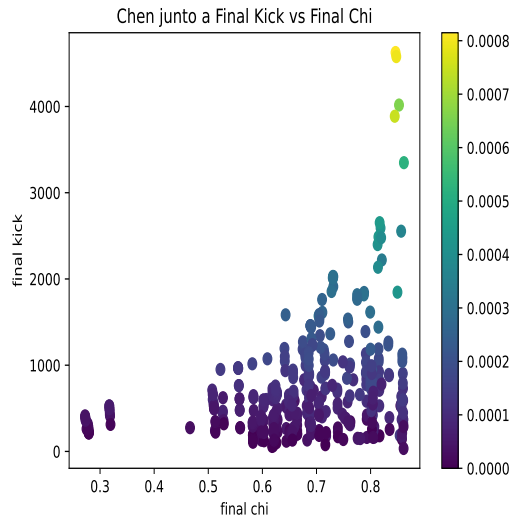


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 62: Precessing.

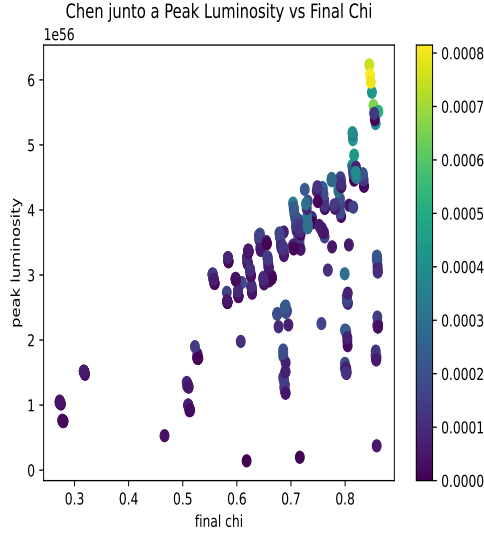


(a) Valores del CP para distintos mergers.

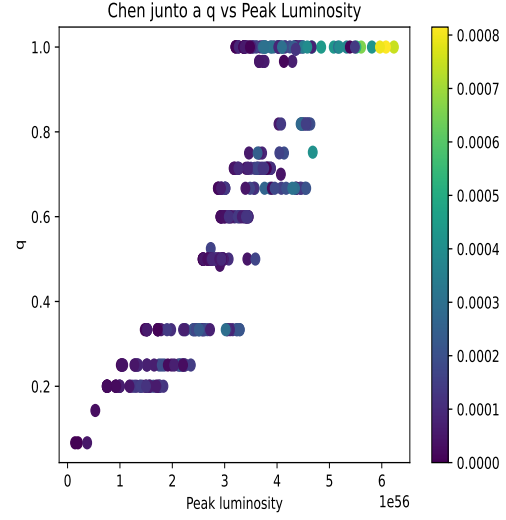


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 63: Precessing.

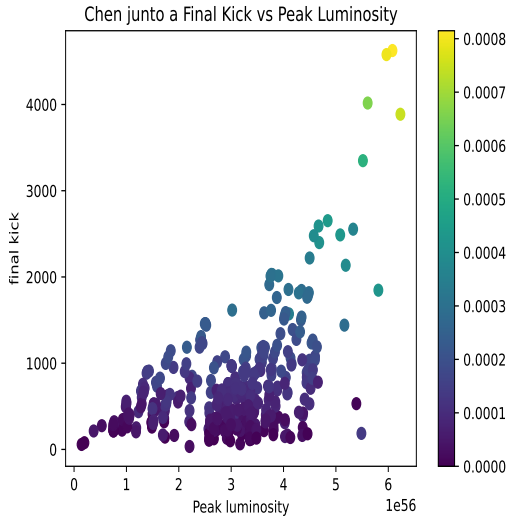


(a) Valores del CP para distintos mergers.

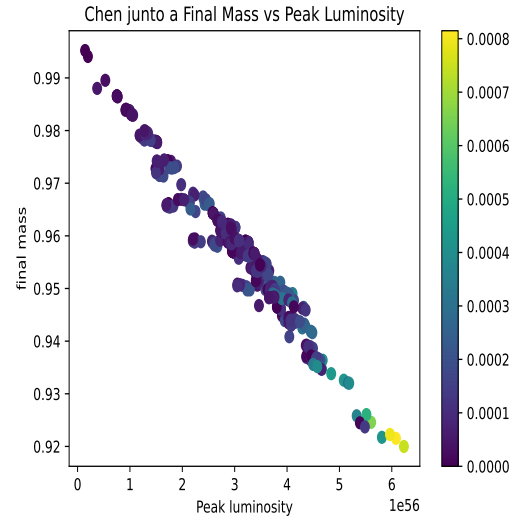


(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 64: Precessing.



(a) Valores del CP para distintos mergers.



(b) Valores del CP para $t > 250$ s.

Figure 65: Precessing.

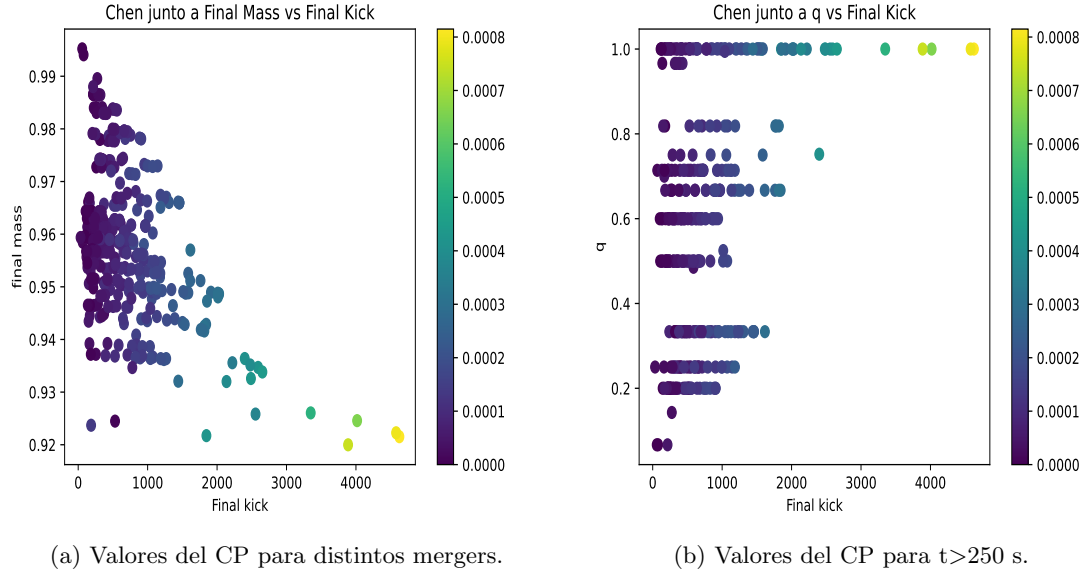


Figure 66: Precessing.

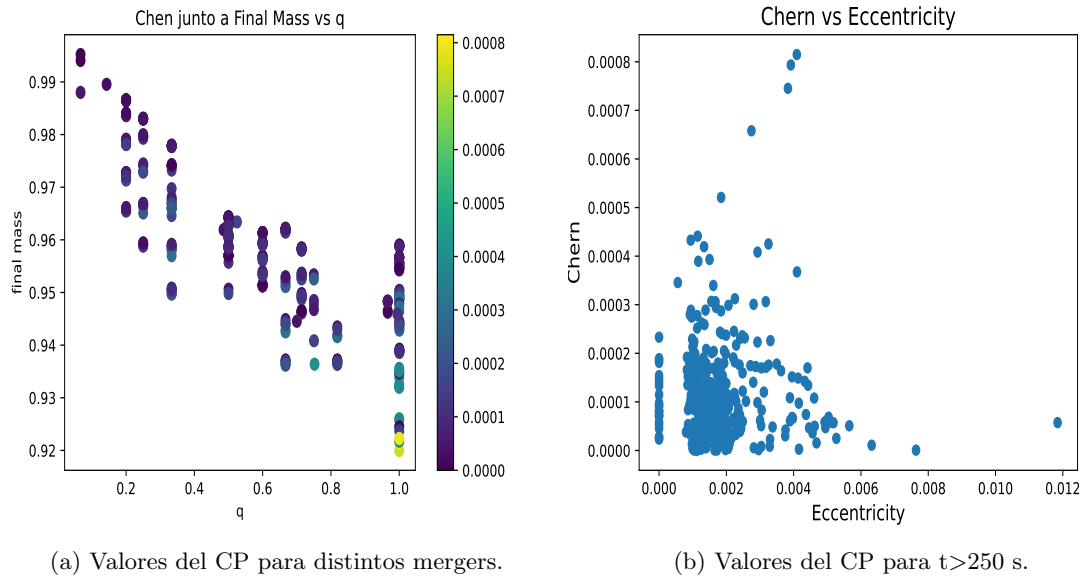


Figure 67: Precessing.