

# En memoria de Peter Higgs

Peter Higgs fue un físico teórico británico, famoso por su trabajo de 1964 donde propuso un mecanismo que puede generar masas para partículas elementales, conforme a la simetría de norma. Medio siglo después, dos experimentos del CERN confirmaron que este mecanismo está realizado en la naturaleza. El 8 de abril nos llegó la triste noticia del fallecimiento del gran pionero de la física de partículas elementales. Este artículo es dedicado a su memoria, al mecanismo y la partícula que llevan su nombre.

## 1 Datos biográficos y contexto histórico

Peter Higgs nació en 1929 en Newcastle, Inglaterra, pasó su juventud parcialmente durante la Segunda Guerra Mundial, circunstancias que complicaron un poco su formación escolar. Después de la guerra, estudió en Londres, primero matemáticas, luego física. En 1954, a los 25 años, ya había terminado su doctorado en el King's College.

Luego trabajó temporalmente en la Universidad de Edimburgo, en el University College y en el Imperial College, ambos en Londres. En 1960 regresó a Edimburgo – ciudad que le encantó y donde el había llegado por primera vez en 1949, como estudiante viajando de mochilazo – para ocupar un puesto de catedrático y quedarse ahí toda su vida.

En 1964, a los 35 años, había escrito sus dos artículos famosos (y otro sobre el mismo tema en 1966) [1] que llamaron la atención y condujeron a invitaciones para presentar seminarios en Princeton y Harvard. Tenía que defenderse contra audiencias críticas, Sidney Coleman comentó más tarde que en Harvard “querían romper en pedazos al idiota que pensaba que podía evadir el Teorema de Goldstone” [2]. Resultó que su concepto siguió de pie, pero aún sin aplicación fenomenológica (sus artículos trataron con un modelo de juguete). Además se enteró por Yoichiro Nambu (el árbitro de su primer artículo) de un trabajo parecido [3], publicado 15 días antes del primer artículo de Higgs sobre el tema. Los autores eran François Englert y Robert Brout quienes trabajaron en Bruselas, Bélgica. Dos meses después apareció otro artículo relacionado, escrito en Londres por Gerald Guralnik, Carl Hagen y Tom Kibble [4], pero ellos ya habían conocido y citaron los trabajos de Englert, Brout y Higgs.

El mecanismo que estos tres artículos propusieron no era totalmente nuevo: había sido descubierto en 1962/3 en el contexto de la materia condensada por Philip Anderson [5]. Él aplicó conceptos de Julian Schwinger [6] para la explicación teórica de la masa de una partícula de norma a la teoría de superconductores. Englert, Brout y Higgs presentaron una extensión a modelos relativistas.

Totalmente independientemente, en Moscú en 1965, dos chicos de 19 años, ambos de nombre Alexander (o Sasha), con apellidos Migdal y Polyakov, discutieron en gran detalle qué significa el rompimiento de una simetría [7]. Ellos escribieron otro artículo parecido que fue publicado en 1966 [8]. Hace unos años Migdal visitó México para un evento organizado por Alexander Turbiner, donde relató sobre las dificultades que tenían para publicar este artículo, ya que la comunidad de físicos establecidos en la Unión Soviética – bajo el liderazgo de Lev Landau – rechazó la teoría cuántica de campos, que todavía era muy controversial también en el mundo occidental. Finalmente, este artículo fue publicado con un poco de retraso, pero más tarde ambos Sashas se hicieron famosos por otros trabajos — en especial, Polyakov quien es conocido por descubrir excitaciones topológicas que llamamos ahora instantones.

La explicación de cómo las partículas de norma – y ciertas partículas acopladas – pueden tener masa fue pronto conocida como el *mecanismo de Higgs*,<sup>1</sup> el tema de la Sección 2 de este resumen. Su aplicación a la fenomenología de partículas elementales emergió en 1967/8 por parte de Steven Weinberg [9] y de Abdus Salam [10]. Ellos integraron este mecanismo al modelo de la interacción electrodébil que Sheldon Glashow había propuesto en 1961 [11] durante su estancia en Copenhague. De hecho, Glashow estuvo presente en el seminario de Higgs en Harvard, y reconoció que era “a nice model” [2], pero nunca se le ocurrió la idea de que este mecanismo podría ser el remedio para salvar a su modelo, que él había abandonado.

Sin embargo, esta teoría – ahora conocida como el sector electrodébil de Modelo Estándar – aún no era generalmente aceptada por la comunidad ya que era considerada no renormalizable. Las teorías cuánticas de campos casi siempre parecen divergentes a altas energías, así que requieren una “regularización”, una manipulación matemática que convierte la divergencia en un valor finito. Se dice que una teoría es *renormalizable* si, al final del cálculo, se puede remover la regularización totalmente y llegar a predicciones finitas para las observables (esta definición es ligeramente simplista).

La comunidad física cambió su punto de vista en 1971/2, gracias al trabajo de Gerard 't Hooft, un brillante estudiante de doctorado en Utrecht, Holanda, quien presentó evidencia a favor de la renormalizabilidad de dicho modelo (parcialmente junto a su asesor, Martinus Veltman). Estos trabajos [12] fueron una sensación que causaron un cambio de paradigma en aquella época.

La clave para este hito fue un nuevo método, la *regularización dimensional* que es entre los logros principales de la física en América Latina: fue propuesta primero por dos argentinos, Carlos Bollini y Juan José Giambiagi en 1971, aunque la publicación [13] se demoró hasta 1972. Ellos trabajaron en La Plata, en circunstancias difíciles durante la dictadura militar [14].

Agregamos que hoy en día se da menos importancia a la pregunta si el Modelo Estándar es renormalizable: la tendencia es que se considera como teoría efectiva, y su validez en un gran rango energético – que no tiene que extenderse hacia infinito – es suficiente.

Poco después, en 1973, el Modelo Estándar de las partículas elementales fue completamente establecido, con un sector electrodébil [9, 10] y otro de la interacción fuerte [15]. En ambos sectores, el mecanismo de Higgs es indispensable para proporcionar masas a gran parte de las partículas elementales. Esto fue una revolución en la física de altas energías como no la hemos visto más en el medio siglo que siguió, aunque después el progreso fue relativamente lento.

En el siglo XXI es popular especular sobre física más allá del Modelo Estándar. Sin embargo, por ahora ninguna de estas propuestas tiene apoyo sólido de datos experimentales. Por otro lado, los experimentos han confirmado las predicciones del Modelo Estándar una y otra vez: muchas veces salien al aire en las noticias que el Modelo Estándar ha sido “refutado” por nuevos resultados, pero al final del análisis, y la repetición de los experimentos, siempre sus predicciones han sido aprobadas.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Consultar la literatura original no conduce a una explicación clara qué es realmente la razón porqué la terminología excluye a Brout y Englert, menos tal vez por razones fonéticas.

<sup>2</sup>Como ejemplo reciente, en la segunda parte de la década pasada, se difundieron noticias de una tensión entre el Modelo Estándar y experimentos con el decaimiento de mesones pesados conocidos como “mesones B”. Al final, esta discrepancia no se substanció. La última moda es el momento magnético del muón, donde el valor experimental parece un poquito diferente del cálculo basado en el Modelo Estándar. Si esto es verdad – cosa que no es nada certera – la predicción se equivoca al nivel relativo de  $10^{-10}$ : si lo comparamos con la distancia entre México y Europa central (Suiza por ejemplo), unos 10,000 km, esto corresponde a un posible error de la magnitud de milímetros. Pero cálculos con simulaciones numéricas en la retícula conducen a resultados más cercanos al valor experimental, tendencia que indica que incluso esta discrepancia mínima podría desaparecer con un análisis más preciso, igual que todas las supuestas discrepancias anteriores.

El Modelo Estándar es aún incompleto para describir al universo (faltan por ejemplo la gravitación, materia oscura y energía oscura), pero aún así: se trata de nada menos que la teoría más precisa y – en este sentido – más exitosa en la historia de la ciencia.

Higgs ya no participó en este desarrollo rápido. Él ya era tan famoso que podía permitirse casi no publicar más resultados de investigación a partir de la edad de 40 años. (En México esto sería un problema serio con el SNII etc.)

Era conocido como persona tranquila y modesta, casi tímida, que no buscó la atención mediática o ponerse en el centro de atención en eventos. Con su mentalidad de abstenerse del “show”, se puede caracterizar como el contrario a Feynman. Esta caracterización corresponde a la impresión de uno de los autores (WB) quien participó en un congreso en Edimburgo 1997. Higgs (quien era emérito desde 1996) apareció en el banquete, pero muy discreto, simplemente para sentarse en una mesa sin ningún espectáculo.

Esto no significa que Higgs no tenía convicciones: era temporalmente activista para el desarmamento nuclear y por el movimiento ambiental como miembro de Green Peace.

Una vez que el Modelo Estándar había sido establecido, su exploración progresó con trabajo intenso en múltiples países. En el año 2000, todas sus partículas ya eran experimentalmente encontradas, menos una: la famosa “partícula de Higgs”, involucrada en este mecanismo, como vamos a describir en la Sección 2.

Otra vez, la nomenclatura es tal vez un poco injusta con Englert y Brout, pero así es la convención de la comunidad. Higgs no puso este término, pero también le era incómodo el apodo absurdo “partícula de dios” que no tiene ni el menor sentido. Este término fue propuesto por la editorial de un libro de divulgación [16], obviamente con un objetivo comercial, pero totalmente irresponsable. Este término se hizo popular y condujo a confusión sin fin, por ejemplo, la iglesia católica de España creyó que el trabajo al CERN tuviera algo que ver con teología [2]. ¡Tenemos que tener cuidado con los terminos que se usamos!

En el siglo XXI fuimos testigos de una carrera emocionante en la búsqueda de la partícula de Higgs. En su fase final, era una competencia entre el Fermilab (cerca de Chicago) y el CERN (cerca de Ginebra, sobre la frontera entre Suiza y Francia). Después de primeras indicaciones en 2011, en 2012 las colaboraciones ATLAS y CMS, ambos trabajando de manera independiente en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) al CERN, presentaron evidencia para la observación indirecta pero clara de la partícula de Higgs que era tanto buscada [17].

Con esto todo el conjunto de partículas del Modelo Estándar había sido observado. Así se confirmó que el mecanismo de Higgs está realizado en la naturaleza, 48 años después de su propuesta teórica. Esto se demoró casi el doble del tiempo que la observación del neutrino (predicho por Wolfgang Pauli en 1930, detectado por Clyde Cowan, Frederick Reines y colaboradores en 1956), vemos que a veces vale la pena tener paciencia.

En particular, valió la pena para Englert y Higgs, quienes recibieron el Premio Nobel en 2013 por su predicción correcta [7]; tristemente, Brout había muerto poco antes, en 2011. En abril del 2024 nos llegó la noticia del fallecimiento de Higgs, a los 94 años, después de una breve enfermedad.

## 2 Mecanismo de Higgs

### References

- [1] P.W. Higgs, *Phys. Lett.* **12** (1964) 132-133; *Phys. Rev. Lett.* **13** (1964) 508-509. *Phys. Rev.* **145** (1966) 1156-1163.
- [2] P. Higgs, *Int. J. Phys.* **A17** (2002) 86-88.
- [3] F. Englert y R. Brout, *Phys. Rev. Lett.* **13** (1964) 321-323.
- [4] G.S. Guralnik, C.R. Hagen y T.W.B. Kibble, *Phys. Rev. Lett.* **13** (1964) 585-587.
- [5] P.W. Anderson, *Phys. Rev.* **130** (1963) 439-442.
- [6] J.S. Schwinger, *Phys. Rev.* **125** (1962) 397-398; *Phys. Rev.* **128** (1962) 2425-2429.
- [7] Royal Swedish Academy of Sciences, “Scientific Background: The BEH-Mechanism, Interactions with Short Range Forces and Scalar Particles”,  
[www.nobelprize.org/prizes/physics/2013/advanced-information/](http://www.nobelprize.org/prizes/physics/2013/advanced-information/)
- [8] A.A. Migdal y A.M. Polyakov, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **51** (1966) 135-146 [*Sov. Phys. JETP* **24** (1967) 91-98].
- [9] S. Weinberg, *Phys. Rev. Lett.* **19** (1967) 1264-1266.
- [10] A. Salam, en *Proc. of the 8th Nobel Symposium on “Elementary particle theory, relativistic groups and analyticity”* ed. N. Svartholm (1969) p. 367-377.
- [11] S.L. Glashow, *Nucl. Phys.* **22** (1961) 579-588.
- [12] G. ’t Hooft, *Nucl. Phys.* **B33** (1971) 173-199; *Nucl. Phys.* **B35** (1971) 167-188. G. ’t Hooft y M.J.G. Veltman, *Nucl. Phys.* **B44** (1972) 189-213.
- [13] C.G. Bollini y J.J. Giambiagi, *Nuovo Cim.* **B12** (1972) 20-26; *Phys. Lett.* **B40** (1972) 566-568.
- [14] W. Bietenholz y L. Prado, *Bol. Soc. Mex. Fís.* **26-4** (2012) 227-230; *Physics Today* **67** (2014) 38-43.
- [15] H. Fritzsch, M. Gell-Mann y H. Leutwyler, *Phys. Lett.* **B47** (1973) 365-368.
- [16] L.M. Lederman y D. Teresi, “The God Particle”, Dell Publishing, 1993.
- [17] ATLAS Collaboration, *Phys. Lett.* **B716** (2012) 1-29. CMS Collaboration, *Phys. Lett.* **B716** (2012) 30-61.
- [18] D. Ayala García y W. Bietenholz, *Bol. Soc. Mex. Fís.* **26-3** (2012) 161-166. W. Bietenholz, *Rev. Cub. Fís.* **30** (2013) 109-112.
- [19] Y. Nambu
- [20] J. Goldstone