

## APLICACIONES DEL PEEK EN IMPLANTOLOGIA: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Trabajo de Investigación  
Requisito para optar al  
Título de Especialista en  
Rehabilitación Oral

**Alumnos:** Dr. Luis Carpio Ortiz  
Dr. Carlos Escobar Silva

**Docente Guía:** Prof. Dr. Rodrigo Bahamondes Madrid  
**Director de Programa:** Prof. Dr. Pedro Maldonado Cortés

Postgrado Rehabilitación Oral UV  
Valparaíso- Chile  
2019

## BIBLIOGRAFÍA

1. Agustin-Panadero R, Serra-Pastor B, Roig-Vanaclocha A, Roman-Rodriguez J, Fons-Font A. Mechanical behavior of provisional implant prosthetic abutments. *Med Oral Patol Oral Cirugia Bucal*. 2015; e94–102.
2. Almasi D, Iqbal N, Sadeghi M, Sudin I, Abdul Kadir MR, Kamarul T. Preparation Methods for Improving PEEK's Bioactivity for Orthopedic and Dental Application: A Review. *Int J Biomater*. 2016;2016:1–12.
3. Bayer S, Komor N, Kramer A, Albrecht D, Mericske-Stern R, Enkling N. Retention force of plastic clips on implant bars: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res*. diciembre de 2012;23(12):1377–84.
4. Cekic-Nagas I, Egilmez F, Ergun G, Vallittu PK, Lassila LVJ. Load-bearing capacity of novel resin-based fixed dental prosthesis materials. *Dent Mater J*. 2017;37(1):49–58.
5. Claveria, J. (2011). PEEK IMPLANTES BIOMEDICOS. Universidad de Zaragoza, 1(1).
6. Cook SD, Rust-Dawicki AM. Preliminary evaluation of titanium- coated PEEK dental implants. *J oral Implantol*. 1995;21:176–81
7. Dayan Ç, Bural C, Geçkili O. The behavior of polyetheretherketone healing abutments when measuring implant stability with electronic percussive testing. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2018;21(1):42–5.
8. Elawadly, T., I. A. W. Radi, A. E. Khadem, and R. B. Osman, "Can PEEK Be an Implant Material? Evaluation of Surface Topography and Wettability of Filled

Versus Unfilled PEEK With Different Surface Roughness", *Journal of Oral Implantology*, vol. XLII, issue 6, pp. 456-461, 2017.

9. Ghodsi S, Zeighami S, Azad M. Comparing Retention and Internal Adaptation of Different Implant-Supported, Metal-Free Frameworks. *Int J Prosthodont*. septiembre de 2018;31(5):475–7.
10. Hahnel S, Wieser A, Lang R, Rosentritt M. Biofilm formation on the surface of modern implant abutment materials. *Clin Oral Implants Res*. noviembre de 2015;26(11):1297–301.
11. Hallmann L, Mehl A, Sereno N, Hämmerle CH. The improvement of adhesive properties of PEEK through different pre-treatments. *Appl Surf Sci* 2012;258:7213-8.)
12. HanCM, LeeEJ, KimHE, KohYH, KimKN, HaY, et al. The electron beam deposition of titanium on polyetheretherketone (PEEK) and the resulting enhanced biological properties. *Biomaterials*. 2010;31:3465–70
13. Jaros OL, De Carvalho GP, Franco AG, Kreve S, Lopes PB, Dias S. Biomechanical behavior of an implant system using polyether ether ketone bar: Finite element analysis. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2018;8(5):446.
14. Kaleli N, Sarac D, Külünk S, Öztürk Ö. Effect of different restorative crown and customized abutment materials on stress distribution in single implants and peripheral bone: A three-dimensional finite element analysis study. *J Prosthet Dent*. 2018;119(3):437–445.
15. Koutouzis T, Richardson J, Lundgren T. Comparative soft and hard tissue responses to titanium and polymer healing abutments. *J Oral Implantol*

2011;37:174–82.

16. Lee WT, Koak JY, Lim YJ, Kim SK, Kwon HB, Kim MJ, Kwon HB. Stress shielding and fatigue limits of poly-ether-ether-ketone dental implants. *J Biomed Mater Res B*. 2012;100:1044–52
17. Maekawa M, Kanno Z, Wada T, Hongo T, Doi H, Hanawa T, et al. Mechanical properties of orthodontic wires made of super engineering plastic. *Dent Mater J*. 2015;34(1):114–9.
18. Malo P, de Araújo Nobre M, Moura Guedes C, Almeida R, Silva A, Sereno N, et al. Short-term report of an ongoing prospective cohort study evaluating the outcome of full-arch implant-supported fixed hybrid polyetheretherketone-acrylic resin prostheses and the All-on-Four concept. *Clin Implant Dent Relat Res*. octubre de 2018;20(5):692–702.
19. Maté Sánchez de Val JE, Gómez-Moreno G, Pérez-Albacete Martínez C, Ramírez-Fernández MP, Granero-Marín JM, Gehrke SA, et al. Peri-implant tissue behavior around non-titanium material: Experimental study in dogs. *Ann Anat - Anat Anz*. julio de 2016;206:104–9.
20. Mounir M, Atef M, Abou-Elfetouh A, Hakam MM. Titanium and polyether ether ketone (PEEK) patient-specific sub-periosteal implants: two novel approaches for rehabilitation of the severely atrophic anterior maxillary ridge. *Int J Oral Maxillofac Surg*. mayo de 2018;47(5):658–64.
21. Najeeb, Shariq et al. “Bioactivity and Osseointegration of PEEK Are Inferior to Those of Titanium: A Systematic Review.” *The Journal of oral implantology* 42 6 (2016): 512-516 .

22. Najeeb S, Zafar MS, Khurshid Z, Siddiqui F. Applications of polyetheretherketone (PEEK) in oral implantology and prosthodontics. *J Prosthodont Res.* enero de 2016;60(1):12–9.
23. Najeeb S, Khurshid Z, Matinlinna JP, Siddiqui F, Nassani MZ, Baroudi K. Nanomodified Peek Dental Implants: Bioactive Composites and Surface Modification—A Review. *Int J Dent.* 2015;2015:1–7.
24. Nazari V, Ghodsi S, Alikhasi M, Sahebi M, Shamshiri AR. Fracture strength of three-unit implant supported fixed partial dentures with excessive crown height fabricated from different materials. *J Dent Tehran Iran.* 2016;13(6):400.
25. Neumann EAF, Villar CC, França FMG. Fracture resistance of abutment screws made of titanium, polyetheretherketone, and carbon fiber-reinforced polyetheretherketone. *Braz Oral Res.* 4 de agosto de 2014;28(1):1–5.
26. Ortega-Martínez J, Farré-Lladós M, Cano-Batalla J, Cabratosa-Termes J. Polyetheretherketone (PEEK) as a medical and dental material. A literature review. *Med Res Arch.* 2017;5(4).
27. Panayotov IV, Orti V, Cuisinier F, Yachouh J. Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. *J Mater Sci Mater Med.* julio de 2016;27(7)
28. Parmigiani JM, Muñoz MEC. Peek, alternativa a aleaciones metálicas en la boca. *Odontología sin metal. Maxillaris Actual Prof E Ind Sect Dent.* 2015;(187):156–165.
29. Partal, L. (2016), Usos del PEEK en Prótesis Dental. Consultado el 18 de noviembre 2018, Universidad de Sevilla: <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/62125/TFG%20INMACULADA%20PARTAL.pdf?sequence=1>

30. Qahtani, M.S.A.A.; Wu, Y.; Spintzyk, S.; Krieg, P.; Killinger, A.; Schweizer, E.; Stephan, I.; Scheideler, L.; Geis-Gerstorfer, J.; Rupp, F. UV-A and UV-C light induced hydrophilization of dental implants. *Dent. Mater.* 2015, 31, e157–e167
31. Rabiei A, Sandukas S. Processing and evaluation of bioactive coatings on polymeric implants. *J Biomed Mater Res Part A* 2013;101:2621–9.
32. Rahmitasari F, Ishida Y, Kurahashi K, Matsuda T, Watanabe M, Ichikawa T. PEEK with Reinforced Materials and Modifications for Dental Implant Applications. *Dent J.* 15 de diciembre de 2017;5(4):35.
33. Rea M, Ricci S, Ghensi P, Lang NP, Botticelli D, Soldini C. Marginal healing using Polyetheretherketone as healing abutments: an experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res.* julio de 2017;28(7):e46–50.
34. Santing HJ, Meijer HJA, Raghoobar GM, Özcan M. Fracture Strength and Failure Mode of Maxillary Implant-Supported Provisional Single Crowns: A Comparison of Composite Resin Crowns Fabricated Directly Over PEEK Abutments and Solid Titanium Abutments: Fracture Strength and Failure Mode of Maxillary Implant-Supported Provisional Single Crowns. *Clin Implant Dent Relat Res.* diciembre de 2012;14(6):882–9.
35. Sarot JR, Contar CM, Cruz AC, de Souza Magini R. Evaluation of the stress distribution in CFR-PEEK dental implants by the three-dimensional finite element method. *J Mater Sci Mater Med.* 2010;21:2079–85
36. Schwitalla AD, Abou-Emara M, Zimmermann T, Spintig T, Beuer F, Lackmann J, et al. The applicability of PEEK-based abutment screws. *J Mech Behav Biomed Mater.* octubre de 2016;63:244–51.

37. Schwitalla AD, Abou-Emara M, Spintig T, Lackmann J, Muller WD. Finite element analysis of the biomechanical effects of PEEK dental implants on the peri-implant bone. *J Biomech.* 2015;48:1–7
38. Schwitalla A, Müller W-D. PEEK Dental Implants: A Review of the Literature. *J Oral Implantol.* diciembre de 2013;39(6):743–9.
39. Schwitalla AD, Spintig T, Kallage I, Müller W-D. Pressure behavior of different PEEK materials for dental implants. *J Mech Behav Biomed Mater.* febrero de 2016;54:295–304.
40. Schwitalla AD, Spintig T, Kallage I, Müller W-D. Flexural behavior of PEEK materials for dental application. *Dent Mater.* noviembre de 2015;31(11):1377–84.
41. Schwitalla AD, Zimmermann T, Spintig T, Kallage I, Müller W-D. Fatigue limits of different PEEK materials for dental implants. *J Mech Behav Biomed Mater.* mayo de 2017;69:163–8.
42. Schwitalla AD, Zimmermann T, Spintig T, Abou-Emara M, Lackmann J, Müller W-D, et al. Maximum insertion torque of a novel implant-abutment-interface design for PEEK dental implants. *J Mech Behav Biomed Mater.* enero de 2018;77:85–9.
43. Serrano, D. (2014), Simulación numérica del comportamiento de polímeros biomédicos (peek) en condiciones de flexión dinámica. Universidad Carlos III de Madrid. Consultado el 19 de noviembre del 2018: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26681/TFG\\_David\\_Garcia\\_Serrano\\_2014.pdf?fbclid=IwAR0DKu5IaMZt4CKfHF85\\_BevJ6unFwpnWj0dQE2xiGGIEgzs9r\\_YeLMRTfl](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26681/TFG_David_Garcia_Serrano_2014.pdf?fbclid=IwAR0DKu5IaMZt4CKfHF85_BevJ6unFwpnWj0dQE2xiGGIEgzs9r_YeLMRTfl)

44. Skirbutis G, Dzingutė A, Masiliūnaitė V, Šulcaitė G, Žilinskas J. A review of PEEK polymer's properties and its use in prosthodontics. *Stomatologija*. 2017;19(1):19–23.
45. Spies B, Petsch M, Kohal R-J, Beuer F. Digital Production of a Zirconia, Implant-Supported Removable Prosthesis with an Individual Bar Attachment Milled from Polyether Ether Ketone: A Case History Report. *Int J Prosthodont*. septiembre de 2018;31(5):471–4.
46. Stawarczyk B, Beuer F, Wimmer T, Jahn D, Sener B, Roos M, et al. Polyetheretherketone - a suitable material for fixed dental prostheses? *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2013;101:1209-16.
47. Stawarczyk B, Eichberger M, Uhrenbacher J, Wimmer T, Edelhoff D, Schmidlin PR. Three-unit reinforced polyetheretherketone composite FDPs: Influence of fabrication method on load-bearing capacity and failure types. *Dent Mater J* 2015;34:7-12.
48. Tannous F, Steiner M, Shahin R, Kern M. Retentive forces and fatigue resistance of thermoplastic resin clasps. *Dent Mater* 2012;28:273-8.
49. Taufall S, Eichberger M, Schmidlin PR, Stawarczyk B. Fracture load and failure types of different veneered polyetheretherketone fixed dental prostheses. *Clin Oral Investig*. diciembre de 2016;20(9):2493–500
50. Uhrenbacher J, Schmidlin PR, Keul C, Eichberger M, Roos M, Gernet W. The effect of surface modification on the retention strength of polyetheretherketone crowns adhesively bonded to dentin abutments. *J Prosthet Dent* 2014;112:1489-97



51. Wachtel A, Zimmermann T, Sütel M, Adali U, Abou-Emara M, Müller W-D, et al. Bacterial leakage and bending moments of screw-retained, composite-veneered PEEK implant crowns. *J Mech Behav Biomed Mater.* marzo de 2018;91:32–7
52. Wang L, He S, Wu X, Liang S, Mu Z, Wei J, et al. Polyetheretherketone/nano-fluorohydroxyapatite composite with antimicrobial activity and osseointegration properties. *Biomaterials* 2014;35:6758–75.
53. Wiesli MG, Özcan M. High-Performance Polymers and Their Potential Application as Medical and Oral Implant Materials: A Review. *Implant Dent.* mayo de 2015;1
54. Zoidis P. The all-on-4 modified polyetheretherketone treatment approach: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 2018;119(4):516–521.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres Verónica y Carlos, ya que sin ellos no sería nada de lo que soy. Los quiero más que a todo.

A mi Valentina. Sin ti no hubiera podido lograr todo esto, ya que me empujaste constantemente y me ayudaste a sobrellevar este arduo período de mucho esfuerzo.

A mis hermanos, amigos y seres queridos que estuvieron conmigo en todo este proceso.

A mi compañero y amigo Luis Carpio, por todo el apoyo, ayuda y cariño durante estos años.

Carlos Escobar Silva.

Doy gracias a dios por permitirme realizar esta experiencia en otro país y una excelente universidad con la ayuda de grandes docentes los cuales se volvieron grandes amigos y mentores de las diferentes cátedras para adquirir el conocimiento sobre esta especialidad.

A mis padres y hermanos los cuales han sido mi pilar y guía en este proceso a pesar de lo lejos los he tenido a mi lado siempre, a mi enamorada que siempre su apoyo fue fundamental para lograr culminar mis estudios

Al Doctor Rodrigo Bahamondes por su apoyo en la elaboración de este trabajo de investigación y en el transcurso de toda la especialidad siempre su apoyo incondicional.

A mi colega y amigo Carlos Escobar que me siento muy afortunado de haber encontrado una gran persona que pude compartir todo este tiempo a su lado.

Luis Carpio Ortiz

## ÍNDICE

Introducción .....	1
Objetivos .....	7
Materiales y Método.....	8
Resultados .....	11
Discusión .....	21
Conclusión .....	31
Bibliografía .....	33

## **OBJETIVO GENERAL**

Realizar una revisión bibliográfica de los últimos 10 años, con el fin de describir las aplicaciones del PEEK en Implantología, con énfasis a su utilización en la Rehabilitación Protésica.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir las características del PEEK como implante dental
  
- Describir las características del PEEK utilizado como aditamento protésico de implantes dentales
  
- Describir las características del PEEK utilizado como material de estructura y casquete de prótesis fija sobre implantes
  
- Describir las características del PEEK utilizado como material en implantoprótesis

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la variedad de polímeros disponibles actualmente solo unos pocos se utilizan para el reemplazo de tejidos óseos, ya que la gran mayoría de los polímeros absorben líquidos, se hinchan, liberando productos indeseables, pudiendo también verse afectados por los procesos de esterilización. Además, algunos de los polímeros también son demasiado flexibles o demasiado débiles para su uso como implantes ortopédicos. (Ortega J., 2017)

La familia de polímeros PAEK (Polyaryleterketona), son biomateriales fuertes e inertes, siendo utilizados para la confección de implantes ortopédicos y traumatológicos. Los dos polímeros más utilizados de esta familia son el PEEK (poli-eter-eter-cetona) y el PEKEKK (poli-eter-cetona-eter-cetona-cetona). (Claveria J., 2011)

El PEEK fue creado en el año 1978 por un grupo de científicos ingleses siendo un material ampliamente extendido en el mundo industrial que, poco a poco, fue introduciéndose en el mundo de la biomedicina. Fue patentado en 1981 como material de implantación y aceptado en 1990 por la FDA (Food and Drug Administration, EEUU), sobre todo en las áreas de la Ortopedia y la Traumatología, pero también en Neurocirugía. (Parmigiani JM, 2015)

Este material es un polímero termoplástico aromático policíclico lineal semicristalino, que consiste en una cetona químicamente recurrente y dos grupos éter, presentando una estructura lineal aromática completa debido a los átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno (Ortega J., 2017). Sus cadenas moleculares se pueden observar a continuación:

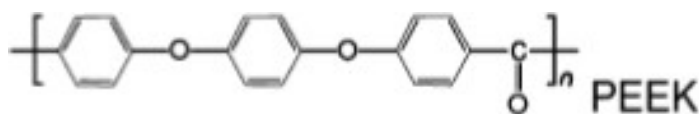


Imagen I: Cadena molecular del PEEK.

La estructura química especial de PEEK exhibe propiedades químicas y físicas particulares: estabilidad a altas temperaturas (como los procesos de esterilización), insoluble a temperatura ambiente en todos los disolventes convencionales, con la excepción del ácido sulfúrico al 98%, lo que lo convierte en un material idóneo para aplicaciones en componentes biomédicos. Es químicamente inerte y presenta resistencia al desgaste (**Skirbutis G, 2017**).

Como cualquier otro polímero termoplástico, las propiedades mecánicas del PEEK dependen, de manera general, directamente de la temperatura y de la velocidad de deformación aplicada. A su vez, este comportamiento mecánico también está definido por su tamaño molecular así como por la orientación y tamaño de las regiones cristalizadas. (**Serrano, D. 2014**)

Dentro de sus propiedades, se describe su módulo de Young (elástico) siendo de 3-4 GPa. El módulo de Young y las propiedades de tracción se asemejan a las del hueso humano, el esmalte y la dentina. Las propiedades mecánicas del PEEK no cambian durante el proceso de esterilización, usando vapor, gamma y óxido de etileno. La temperatura de fusión de PEEK es de 334 ° C, peak de cristalización es a 343 ° C y su temperatura de transición vítrea es de 145 ° C. Presenta una gran estabilidad térmica hasta los 335.8°C. El módulo de flexión de PEEK es 140-170 MPa, densidad - 1300 kg / m<sup>3</sup> y conductividad térmica 0.29 W / mK (**Skirbutis G, 2017**).

Sus propiedades térmicas lo hacen estable en el cuerpo humano. Este material demuestra una alta resistencia a la radiación de rayos gamma y de electrones. (**Panayotov IV, 2016**)

Es un material excelente para la mecanización ya que admite diferentes procesos de fabricación (moldeado por inyección y extrusión). Presenta alta tenacidad, útil en aplicaciones traumatológicas que deben soportar grandes cargas y también un alto límite de fatiga, útil en aplicaciones articulares que soporten gran número de repeticiones.

Es radiolúcido, lo que lo hace compatible con técnicas como resonancia magnética, tomografía computarizada y rayos X. Esta naturaleza radiolúcida del material puede ser una ventaja en el área de la medicina siendo fácilmente visible en la resonancia, sin embargo, puede ser una desventaja en la práctica odontológica por no lograr diferenciarse de las demás estructuras orales al examen radiográfico, siendo éste el medio más utilizado. En cuanto a otras propiedades, se puede decir que tiene buena resistencia a la penetración de gases como helio, hidrogeno y oxígeno, con bajas tasas de absorción de agua y vapor de agua (**Partal, L, 2016**).

Éste presenta un color ámbar pálido. No es un material que genere reacciones alérgicas, tiene una baja afinidad con la placa bacteriana y no es tóxico. (**Skirbutis G, 2017**).

El PEEK puede ser combinado con otros materiales para formar lo que se conoce como un material compuesto. Un material compuesto es todo aquel que tiene dos o más partes diferenciadas (una funciona como matriz y la otra como refuerzo), cada una con unas propiedades físicas y mecánicas características, con un punto o zona de unión denominado interface y que actúan como uno solo. (**Serrano, D. 2014**). En relación a esto, se encuentran los siguientes materiales compuestos:

#### PEEK reforzado con carbono:

Uno de los primeros componentes de PEEK para aplicaciones biomédicas fue el compuesto de PEEK reforzado con carbono (CFR-PEEK). Al aumentar el porcentaje de fibras de carbono en el PEEK, el módulo elástico y la resistencia a la tracción aumentan. Al mismo tiempo las propiedades de alargamiento a la tracción del material disminuyen, en consecuencia, el sustrato se vuelve más robusto y menos elástico. Cuando el PEEK se refuerza con fibra de carbono disminuye ligeramente el punto de fusión del material, en función del porcentaje de fibras. Su comportamiento dinámico a la fractura cuando se refuerza con

fibras de carbono es superior en relación al refuerzo con fibras de vidrio y que el PEEK puro. (**Serrano, D. 2014, Panayotov IV, 2016**).

#### PEEK reforzado con fibra de vidrio:

Otra clase de compuestos PEEK son los compuestos PEEK reforzados con fibra de vidrio (GFR-PEEK - glass fiber reinforced). La fibra de vidrio, en comparación con la fibra de carbono, es más rígida, dura y frágil.

Al ser el GFR-PEEK un material frágil, es óptima su uso en aplicaciones en las que se requieren alta resistencia y rigidez, pero en sistemas de cargas estáticos, en comparación con el CFR-PEEK (Carbon Fiber Reinforced) que se utiliza en ambientes de carga dinámica. Cuando el PEEK se refuerza con fibra de vidrio también disminuye ligeramente el punto de fusión del material, en función del porcentaje de fibras, resultando una temperatura menor que cuando es reforzado con fibra de carbono. En cuanto a las propiedades mecánicas, reforzar el PEEK con fibra de vidrio también reduce el desgaste y el coeficiente de fricción con respecto al PEEK puro, no así cuando es reforzado con fibra de carbono. (**Serrano, D. 2014, Panayotov IV, 2016**).

#### PEEK reforzado con compuestos inorgánicos:

Con el fin de aumentar las propiedades biológicas y, más precisamente, las capacidades de osteoinducción de los materiales de PEEK, se crearon compuestos orgánicos inorgánicos entre el fosfato beta-tricálcico (b-TCP) o la hidroxiapatita y el PEEK. Desde un punto de vista biomecánico, estos compuestos demuestran un aumento significativo en el módulo elástico. En contraste con la fibra de carbono y los aditivos de fibra de vidrio, la HA en particular y quizás en menor medida el b-TCP no muestra una fuerte afinidad mecánica con la matriz PEEK. Se ha demostrado que la carga de PEEK con un 40% de HA disminuye la resistencia a la tracción final del material en un 45% a



44 MPa, que es comparable al hueso cortical. Pero los compuestos HA-PEEK no son tan resistentes a las fracturas.

#### Nanocompuestos PEEK:

El siguiente paso del desarrollo de los compuestos PEEK fue la creación de nano-compuestos PEEK a través de la aplicación de métodos de moldeo por compresión. Se propusieron compuestos de hidroxiapatita / polieteretercetona que contienen estroncio (Sr-HA / PEEK) con 15-30% en volumen de Sr-HA. Los autores informaron un aumento de las características biomecánicas en comparación con el clásico PEEK. El módulo de elasticidad informado y la resistencia a la tracción de los dos nanocompuestos aumentaron en un 20–50%, en comparación con el material PEEK sin filtrar. Al mismo tiempo se observó una disminución del alargamiento por tracción. En 2012 Liu et al. utiliza nano-TiO<sub>2</sub> para mejorar la bioactividad del material PEEK. **(Panayotov IV, 2016)**

En los últimos años, se comenzó a aplicar en el campo odontológico, en especial en la implantología y la prótesis implantosoportada. Para su uso también ha influido la gran demanda de los pacientes que no aceptan metales en su boca, o por alergias producidas por las distintas aleaciones utilizadas en las construcciones de las prótesis dentales y los implantes. Su versatilidad, biocompatibilidad y propiedades biomecánicas hacen de este material un prometedor sustituto de las aleaciones en la boca. **(Parmigiani JM, 2015)**

A diferencia del metal, el PEEK es biocompatible y tiene una apariencia natural del color del diente, de ahí su uso generalizado en implantes, pilares provisionales, barras con soporte de implantes o materiales de sujeción en el campo de las prótesis dentales removibles, prótesis implantosoportadas e implantoretenidas. **(Ortega-Martínez J, 2017, Parmigiani JM, 2015)**

Por otro lado, su biocompatibilidad, el módulo de flexión ósea, la resistencia al agrietamiento, la facilidad de pulido y la maquinabilidad de PEEK, permiten su uso como material en la sección palatina de las prótesis obturadoras maxilares en pacientes con grandes defectos bucales-nasales. **(Ortega-Martínez J, 2017)**

Además, el PEEK puede moldearse fácilmente con fresas dentales, aunque, debido a su baja translucidez y pigmentación grisácea, aún requiere recubrimiento. El PEEK también ofrece una alternativa a los cables de ortodoncia por razones de estética mejorada, (**Parmigiani JM, 2015**) entregando una muy buena resistencia a la flexión y deformación, pudiendo lograr una fuerza ortodóntica similar al cable de Ni-Ti, mostrando incluso una baja absorción de agua, mostrando características óptimas para ser utilizado como alambre de ortodoncia sin metal (**Maekawa, 2015**).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Tipo de Investigación:**

Revisión de la literatura

### **Determinación de la muestra:**

Estudios relacionados al material PEEK y sus aplicaciones distintas aplicaciones en implantología en los últimos 10 años.

### **Palabras clave (Key words) para la búsqueda bibliográfica:**

- PEEK
- DENTAL IMPLANT
- DENTAL ABUTMENT
- FIXED PARTIAL DENTURE
- DENTAL PROSTHESIS, IMPLANT SUPPORTED
- DENTAL PROSTHESIS DESIGN

### **Criterios de Inclusión:**

- Libros y documentos
- Estudios clínicos
- Ensayos clínicos
- Estudios comparativos
- Ensayos clínicos controlados
- Artículos de revistas científicas
- Meta-análisis
- Estudios observacionales
- Revisiones y revisiones sistemáticas.
- Reportes de caso
- Entre los años 2008 y 2018.
- Idioma Español, inglés y portugués.

**Criterios de exclusión:**

- Otro idioma que no sea español o inglés.
- Estudios que no tengan relación con el área odontológica en cuestión.

**Método de búsqueda o muestreo:**

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos: Pubmed, EBSCO, Web of Science y Cochrane. Para cada base de datos se utilizaron las keywords o palabras llave anteriormente mencionadas en conjunto con los conectores booleanos: AND, OR.

Las llaves de búsqueda utilizadas fueron las siguientes:

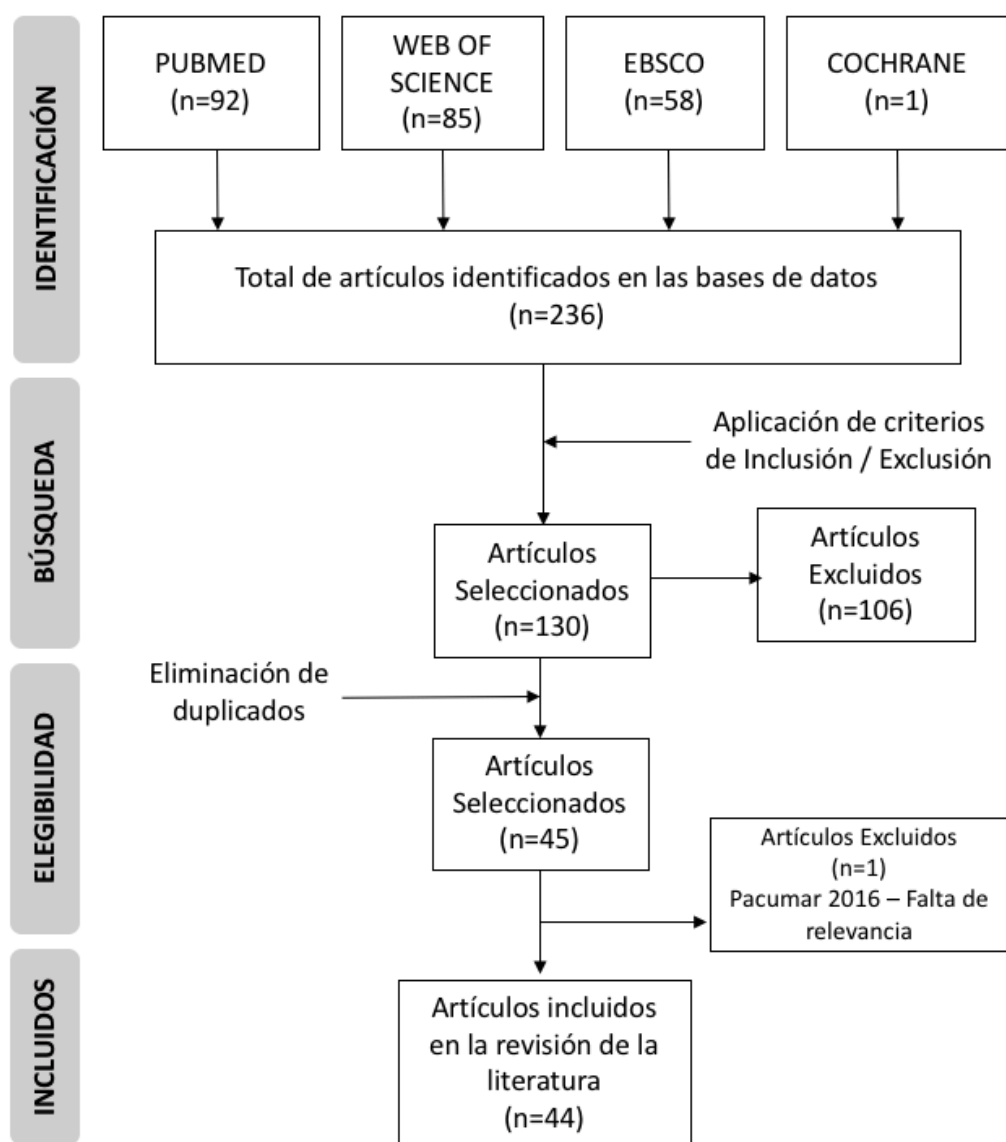
- PEEK AND DENTAL IMPLANT AND DENTAL ABUTMENT
- PEEK AND FIXED PARTIAL DENTURE
- PEEK AND DENTAL PROSTHESIS, IMPLANT SUPPORTED
- PEEK AND DENTAL PROSTHESIS DESIGN
- PEEK AND DENTAL IMPLANT

**Selección de estudios:**

Para seleccionar los estudios que serán utilizados en la revisión bibliográfica efectuada en las distintas bases de datos, ambos investigadores leyeron los títulos y abstract de todos los artículos encontrados. Luego se aplicaron los distintos criterios de inclusión y exclusión para obtener los artículos definitivos necesarios para el desarrollo de la revisión.

## RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos de la búsqueda bibliográfica, se realizó un diagrama de flujo presentado en la figura I. Fueron obtenidos un total de 236 artículos dentro de los 4 buscadores, que luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron 130 artículos. Posteriormente estos fueron sometidos a la eliminación de duplicados, reduciéndose a un total de 49, siendo éstos los seleccionados para esta revisión de la literatura.



**Figura I:** Diagrama de Flujo de búsqueda de artículos incluidos

Los estudios seleccionados para la revisión de la literatura se presentan a continuación en las siguientes tablas, siendo estos divididos en base a los siguientes temas a tratar: PEEK como material, PEEK como aditamento protésico, PEEK como estructura en Prótesis fija, PEEK en Implantoprótesis, PEEK como Implante dental. En la tabla se detallan Autores, Títulos, año de publicación y tipo de estudio. Estos se encontrarán ordenados en base al año de publicación siendo de menor a mayor.

**TABLA I.** PEEK como material

	<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Tipo de Estudio</b>
<b>1</b>	Flexural behavior of PEEK materials for dental application	Andreas Dominik Schwitalla, Tobias Spintig, Ilona Kallage, Wolf-Dieter Müller	2015	Estudio In Vitro
<b>2</b>	Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications	Ivan Vladislavov Panayotov, Valérie Orti, Frédéric Cuisinier, Jacques Yachouh	2016	Revisión Bibliográfica
<b>3</b>	Preparation methods for improving PEEK's bioactivity for orthopedic and dental applications: A review	Davood Almasi, Nida Iqbal, Maliheh Sadeghi, Izman Sudin, Mohammed Rafiq Abdul Kadir, and Tunku Kamarul	2016	Revisión Bibliográfica

4	A review of PEEK polymer's properties and its use in prosthodontics	Gediminas Skirbutis, Agnė Dzingutė, Viltė Masiliūnaitė, Gabrielė Šulcaitė, Juozas Žilinskas	2017	Revisión Bibliográfica
---	---	---	------	------------------------

**TABLA II.** PEEK como aditamento protésico.

	<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Tipo de estudio</b>
1	Fracture Strength and failure mode of maxillary implant-supported provisional single crowns: A comparison of composite resin crowns fabricated directly over PEEK abutments and solid titanium abutments	Hendrik Jacob Santing, Henny J. A. Meijer, Gerry M. Raghoobar, Mutlu Özcan.	2010	Estudio In Vitro
2	Comparative Soft and Hard tissue response to titanium and polymer healing abutments	Theofilos Koutouzis, Joseph Richardson, Tord Lundgren.	2011	Ensayo clínico controlado
3	Fracture resistance of abutment screws made of titanium, polyetheretherketone, and carbon fiber-reinforced polyetheretherketone	Eduardo Aloisio Fleck, NEUMANN, Cristina Cunha VILLAR, Fabiana Mantovani Gomes FRANÇA	2013	Estudio In Vitro
4	Biofilm formation on the Surface of modern implant abutment materials	Sebastian Hahnel, Angela Wieser, Reinhold Lang, Martin Rosentritt	2014	Estudio In vitro
5	Mechanical behavior of provisional implant prosthetic abutments	Rubén Agustín-Panadero, Blanca Serra-Pastor, Ana Roig-Vanaclocha, Juan-Luis Román-Rodríguez, Antonio Fons-Font	2015	Estudio In Vitro



6	The Applicability of PEEK-based abutment screws	Andreas Dominik Schwitalla, Mohamed Abou-Emara, Tycho Zimmermann, Tobias Spintig, Florian Beuer, Justus Lackmann, Wolf-Dieter Müller	2016	Estudio In Vitro
7	Marginal healing using Polyetheretherketone as healing abutments: an experimental study in dogs	Massimiliano Rea Sara Ricci Paolo Ghensi Niklaus P. Lang Daniele Botticelli Claudio Soldini	2016	Estudio experimental en perros
8	Use of High performance polymers as dental implant abutments and frameworks: A Case Series report	Mohammad AL-Rabab'ah, Wala'a Hamadneh, Ismail Alsalem, Ameen Khraisat, Ashraf Abu Karaky.	2017	Reporte de casos
9	Effect of different restorative crown and customized abutment materials on stress distribution in single implants and peripheral bone: A three-dimensional finite element analysis study	Necati Kaleli, Duygu Sarac, Safak Külünk, Özgür Öztürk,	2017	Análisis de elementos finitos
10	The behavior of polyetheretherketone healing abutments when measuring implant stability with electronic percussive testing	Çaglatay Dayan, Canan Bural, Onur Geçkili	2018	Estudio In Vitro

**TABLA III.** PEEK como estructura en prótesis fija

	<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Tipo de estudio</b>
1	Polyetheretherketone- a suitable material for fixed dental prostheses?	Bogna Stawarczyk, Florian Beuer, Timea Wimmer, Dirk Jahn, Beatrice Sener, Malgorzata Roos, Patrick R. Schmidlin	2013	Estudio In Vitro

2	Three-unit reinforced polyetheretherketone composite FDPs: Influence of fabrication method on load-bearing capacity and failure types	Bogna STAWARCZYK, Marlis EICHBERGER, Julia UHRENBACHER, Timea WIMMER, Daniel EDELHOFF and Patrick R. SCHMIDLIN	2015	Estudio In Vitro
3	Fracture load and failure types of different veneered polyetheretherketone fixed dental prostheses	Simon Taufall & Marlis Eichberger & Patrick R. Schmidlin & Bogna Stawarczyk	2016	Estudio In Vitro
4	Modified PEEK resin-bonded fixed dental prosthesis as an interim restoration after implant placement	Panagiotis Zoidis, and Ioannis Papathanasiou	2016	Reporte de caso
5	Fracture strength of three-unit implant supported fixed partial dentures with excessive crown height fabricated from different materials	Vahideh Nazari, Safoura Ghodsi, Marzieh Alikhasi, Majid Sahebi, Ahmad Reza Shamshiri	2016	Estudio In Vitro
6	Versatility of PEEK as fixed partial denture framework	Nikita Sinha, Nidhi Gupta, K. Mahendranadh Reddy, Y. M. Shastry	2016	Reporte de caso
7	Interim rehabilitation of occlusal vertical dimension using a double-crown-retained removable dental prosthesis with polyetheretherketone framework	Sebastian Hahnel, Christian Scherl,b and Martin Rosentritt.	2017	Reporte de caso
8	Load-bearing capacity of novel resin-based fixed dental prosthesis materials	Isil CEKIC-NAGAS1, Ferhan EGILMEZ, Gulfem ERGUN1, Pekka Kalevi VALLITTU y Lippo Veli Juhana LASSILA	2017	Estudio In Vitro
9	Comparing retention and internal adaptation of different	Safoura Ghodsi, Somayeh Zeighami,	2018	Estudio In Vitro

	implant-supported, metal-free frameworks	/Mojdeh Meisami Azad		
10	Bacterial leakage and bending moments of screw-retained, composite-veneered PEEK implant crowns	Andreas Wachtela, Tycho Zimmermanna, Mona Sütela, Ufuk Adalia, Mohamad Abou-Emarab, Wolf-Dieter Müllera, Sven Mühlemannc, Andreas Dominik Schwitallaa.	2018	Estudio In Vitro

**TABLA IV.** PEEK en Implantoprótesis

	<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Tipo de Estudio</b>
<b>1</b>	Retention force of plastic clips on implant bars: a randomized controlled trial	Stefan Bayer Nathalie Komor Annina Kramer Dominic Albrecht Regina Mericske-Stern Norbert Enkling	2011	Ensayo clínico controlado
<b>2</b>	The all-on-4 modified polyetheretherketone treatment approach: a clinical report	Panagiotis Zoidis	2017	Reporte de caso

3	Biomechanical behavior of an implant system using polyether ether ketone bar: Finite element analysis	Otávio Augusto Luitz Jaros, Geraldo Alberto Pinheiro De Carvalho, Aline Batista Gonçalves Franco, Simone Kreve, Paulo Augusto Batista Lopes, Sergio Cândido Dias	2018	Análisis de elementos finitos
4	Short-term report of an ongoing prospective cohort study evaluating the outcome of full-arch implant-supported fixed hybrid polyetheretherketone-acrylic resin prostheses and the All-on-four concept	Paulo Maló Miguel de Araújo Nobre Carlos Moura Guedes Ricardo Almeida António Silva Nuno Sereno João Legatheaux	2018	Estudio Clínico Prospectivo de Cohorte
5	Digital production of a Zirconia, Implant-supported removable prosthesis with an individual bar attachment milled from Polyether ether ketone: A case history report	Benedikt C. Spies, /Matthias Petsch, Ralf-Joachim Kohal, Florian Beuer	2018	Reporte de caso

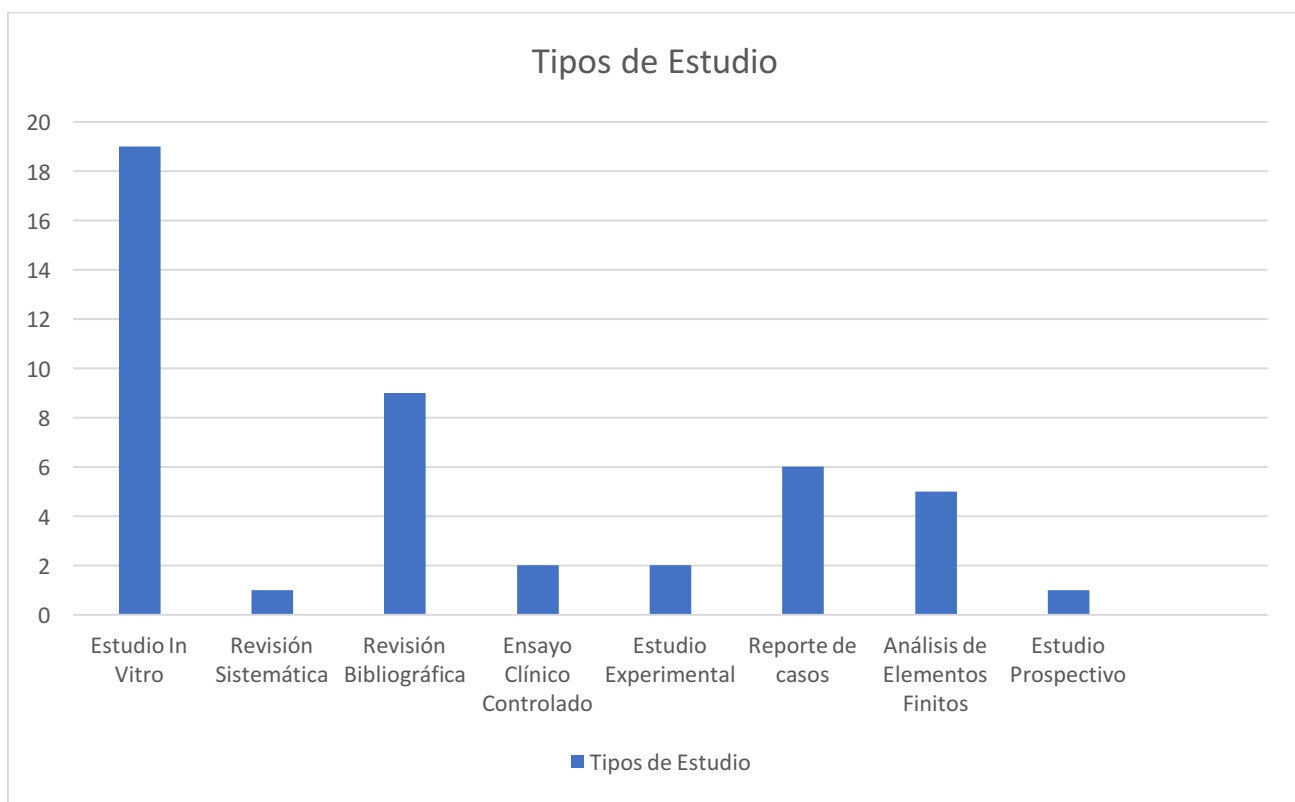
**TABLA V.** PEEK como Implante dental.

	<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Tipo de Estudio</b>
1	Evaluation of the stress distribution in CFR-PEEK dental implants by the three-dimensional finite element method	João Rodrigo Sarot • Cintia Mussi Milani Contar • Ariadne Cristiane Cabral da Cruz • Ricardo de Souza Magini	2010	Análisis de elementos finitos
2	Stress shielding and fatigue limits of polyether-ether-ketone dental implants	Woo-Taek Lee, Jai-Young Koak, Young-Jun Lim, Seong-Kyun Kim, Ho-Beom Kwon, Myung-Joo Kim	2012	Análisis de elementos finitos
3	PEEK dental implants: A review of the literature	Andreas Schwitalla, Wolf-Dieter Muller	2013	Revisión Bibliográfica

<b>4</b>	Finite element analysis of the biomechanical effects of PEEK dental implants on the peri-implant bone	A.D. Schwitalla, M. Abou-Emara T. Spintig J. Lackmann, W.D. Müller	2015	Análisis de elementos finitos
<b>5</b>	Nanomodified Peek dental implants: Bioactive composites and surface modification – a review	Shariq Najeeb, Zohaib Khurshid, Jukka Pekka Matinlinna, Fahad Siddiqui, Mohammad Zakaria Nassani, and Kusai Baroudi	2015	Revisión Bibliográfica
<b>6</b>	High-Performance polymers and their potencial application as medical and oral implant materials: a review	Matthias Guido Wiesli, Mutlu Özcan	2015	Revisión Bibliográfica
<b>7</b>	Pressure behavior of different PEEK materials for dental implants.	Andreas Dominik Schwitalla, Tobias Spintig, Ilona Kallage, Wolf-Dieter Müller	2016	Estudio In Vitro
<b>8</b>	Fatigue limits of different PEEK materials for dental implants	Andreas Dominik Schwitalla, Tycho Zimmermann, Tobias Spintig, Ilona Kallage, Wolf-Dieter Müller*	2016	Estudio In Vitro
<b>9</b>	Applications of polyetheretherketone (PEEK) in oral implantology and prosthodontics	Shariq Najeeb, Muhammad S. Zafar, Zohaib Khurshid, Fahad Siddiqui	2016	Revisión Bibliográfica
<b>10</b>	Bioactivity and osseointegration of PEEK are inferior to those of titanium – A systematic review	Shariq Najeeb, Zohaib Khurshid, Sana Zohaib, Muhammed Sohail Zafar	2016	Revisión sistemática

11	Peri-implant tissue behavior around non-titanium material: Experimental study in dogs	José Eduardo Maté Sánchez de Vala, Gerardo Gómez-Moreno, Carlos Pérez-Albacete Martínez, María Piedad Ramírez Fernández, José Manuel Granero Marín, Sergio Alexandre Gehrke, José Luis Calvo-Guirado.	2016	Estudio experimental en perros
12	Can PEEK be an implant material? Evaluation of surface topography and wettability of filled versus unfilled PEEK with different surface roughness	Tarek Elawadly, Iman AW Radi, Amr El Khadem, Reham B. Osman	2017	Estudio In Vitro
13	PEEK with reinforced materials and modifications for dental implant applications	Fitria Rahmitasari, Yuichi Ishida, Kosuke Kurahashi, Takashi Matsuda, Megumi Watanabe and Tetsuo Ichikawa	2017	Revisión Bibliográfica
14	Maximum insertion torque of a novel implant – abutment-interface design for PEEK dental implants	Andreas Dominik Schwitalla, Tycho Zimmermann, Tobias Spintig, Mohamed Abou-Emara, Justus Lackmann, Wolf-Dieter Müller, Alireza Houshmand	2017	Estudio In Vitro
15	Titanium and polyetheretherketone (PEEK) patient-specific sub-periosteal implants: two novel approaches for rehabilitation of the severely atrophic anterior maxillary ridge	M. Mounir, M. Atef, A. Abou-Elfetouh, M. M. Hakam	2017	Reporte de caso

El siguiente gráfico muestra los tipos de estudios encontrados:



**GRÁFICO 1:** Tipos de estudios encontrados en la búsqueda bibliográfica.

## DISCUSIÓN

Esta revisión bibliográfica tuvo por objetivo describir las aplicaciones del PEEK como material en Implantología, con énfasis en la rehabilitación protésica. Luego de la búsqueda se seleccionaron finalmente 44 artículos pertenecientes a los últimos 10 años para describir las características más relevantes del uso de este material.

Es importante mencionar que la gran mayoría de estudios encontrados fueron del tipo “In Vitro”, seguido de revisiones bibliográficas, reportes de caso, análisis de elementos finitos y finalmente estudios de tipo experimental en menor cantidad.

### 1. PEEK como material de implante:

Dadas las características del PEEK como material, y su amplio uso en medicina, es que nace la necesidad de probar si este material es adecuado para ser utilizado como implante oseointegrado, enfocando el mayor interés en la literatura. Parte importante de los trabajos de investigación en relación al PEEK como implante se han centrado en su oseointegración, de acuerdo algunos estudios realizados en animales, el PEEK como implante logra oseointegrarse como un material biocompatible in vivo, **(Schwitalla AD, 2013)(Schwitalla AD, 2015)** sin embargo, Najeeb y cols. en el 2016, realizaron una revisión sistemática de la literatura analizando 9 artículos (5 in vitro y 4 estudios en animales), determinando que el PEEK no modificado es menos osteoconductor y bioactivo que el titanio. El titanio por su parte, mostró mayores valores de proliferación celular, angiogénesis, maduración osteoblástica y osteogénesis, por lo que el PEEK en su estado no modificado, no es adecuado para ser utilizado como implante dental. **(Najeeb, 2016)**

Es debido a ésta problemática, que se han efectuado distintas investigaciones en mejorar la osteointegración y osteoinducción del PEEK por medio de cambios en la superficie del material. Se describe el uso de modificaciones superficiales a nanoescala realizadas con depósitos de titanio **(Cook, 1995) (Han CM, 2010)**, hidroxiapatita **(WangL, 2014)** radiación UV **(Qahtani, 2015)**, aumento de la



rugosidad superficial, modificaciones químicas (por medio de sulfonación, aminación y nitratación), (**Hallmann 2012**) (**Uhrenbacher, 2014**) mejorando la biocompatibilidad del PEEK para alcanzar una oseointegración más temprana. Estos compuestos modificados presentan mejores propiedades tensiles que el PEEK en estado puro. (**Rahmitasari F, 2017**) (**Najeeb, 2015**) (**Najeeb, 2016**) (**Panayotov, 2016**)

De todos estos métodos anteriormente descritos la deposición de Hidroxiapatita a través del método de pulverización por plasma es el único método que califica para su uso comercial, pero aun siendo cuestionado debido a la posibilidad de daño de la superficie del compuesto, por lo que se requiere mayor investigación. (**Almasi, 2016**)

Estos hallazgos han sugerido un gran potencial de materiales recubiertos de PEEK para aplicaciones de implantes dentales. Sin embargo, hasta el momento no se han realizado ensayos clínicos que investiguen los implantes dentales recubiertos de PEEK en seres humanos y es necesario evaluar su biocompatibilidad antes de la aplicación clínica.

Es por esto que Elawadly y cols., en el 2017 realizaron la siguiente pregunta: ¿Puede el PEEK ser un material adecuado para ser utilizado como implante? Ante esto se evaluó la rugosidad superficial y humectabilidad de diferentes tipos de PEEK reforzados y no reforzados con fibras de carbono y cerámica. Se evaluaron estos parámetros debido a que una superficie moderadamente áspera del implante permite la adhesión de osteoblastos con una alta tasa de proliferación; por otra parte, la humectabilidad, factor importante para los procesos de cicatrización inicial; siendo ambos parámetros cruciales para la oseointegración. En este estudio, se determinó que los materiales de PEEK CFR50, CFRP1 10 y CFP1 10, mostraron los valores más favorables de rugosidad y buena humectabilidad, siendo potenciales sustratos para implantes dentales. (**Elawadly, 2017**) Estos hallazgos corroboran los resultados obtenidos en estudios in vivo en animales, donde el PEEK reforzado con fibras de carbono logró una excelente oseointegración, siendo comparable con el titanio, indicando

la necesidad del reforzamiento para que sea una alternativa realista al titanio para uso médico y dental (**Wiesli, 2015**).

Es importante mencionar que el principal beneficio encontrado en la literatura para la aplicación del PEEK en el uso de implantes dentales es su bajo módulo elástico entre 3 a 4 GPa, siendo éste cercano al de estructuras tales como la dentina y el hueso cortical. Éste material puede ser modificado, incluyéndole fibras de carbono, logrando aumentar el módulo elástico hasta 18 GPa acercándose aún más al módulo elástico óseo (Tabla 6). Por otra parte, el titanio presenta un módulo elástico significativamente mayor que el hueso, generando un mayor stress shielding. (**Najeeb, 2016**) (**Rabiei A, 2013**).

Material	Elastic Modulus (GPa)	References
Titanium	110	Lee, 2012 [4]
Cobalt-Chromium	180–210	Wiesli, 2015 [28]
Zirconia	210	Lee, 2012 [4]
Porcelain	68.9	Lewinstein, 1995 [29]
PMMA	3–5	Vallittu, 1998; Zafar, 2014 [30,31]
PEEK	3–4	Sandler, 2002 [24]
CFR-PEEK	18	Sandler, 2002 [24]
Continuous CFR-PEEK (Endolign®)	150	Schwitalla, 2015 [25]
GFR-PEEK	12	Lee, 2012 [4]
Cortical bone	14	Martin, 1989; Rho, 1993 [32,33]
Cancellous bone	1.34	Borchers and Reichart, 1983 [34]
Enamel	40–83	Staines, 1981; Rees, 1993; Cavalli, 2004 [35–37]
Dentin	15–30	Rees, 1993; Chun, 2014 [36,38]

**TABLA VI:** Módulos elásticos de distintos PEEK y comparación con estructuras y materiales convencionales. (**Rahmitasari F, 2017**)

Este concepto hace referencia a la reducción en volumen de hueso alrededor del implante debido al movimiento normal del implante ante cargas.

Sarot y cols. en el 2010, por medio de un AEF (análisis de elementos finitos) demostraron que los implantes de PEEK reforzados con fibras de carbono mostraron altos niveles de estrés en la interfase hueso – implante debido a la alta deformación, mientras que el titanio logró una distribución más homogénea. (**Sarot JR, 2010**).

Sin embargo, Lee y cols. en el 2012, también por medio del mismo análisis, realizaron pruebas de compresión con PEEKs reforzados con fibra de vidrio, carbono y titanio, estudiando las densidades de energía de tensión y el consecuente efecto de pérdida ósea en estos implantes. Se encontró que los implantes de PEEK reforzados con fibra de vidrio de 4mm de diámetro logran soportar una carga estática y cíclica comparable a la fuerza máxima de mordida en denticiones anteriores (140-170N), como también que los implantes revestidos con PEEK en la zona cervical redujeron mejor el stress shielding que los que no estaban recubiertos. **(Lee WT, 2012)**. De la mano de estos resultados, Schwitalla AD y cols., señalaron también por medio de un AEF, que el implante de PEEK con un 60% de fibras de carbono ha demostrado distribuir el estrés de manera similar a los implantes de titanio obteniendo una mínima deformación y mínima distribución de estrés durante las cargas. **(Schwitalla AD, 2015)** **(Panayotov, 2016)**.

Respecto a otros parámetros mecánicos del PEEK en implantología, Schwitalla y cols, realizaron tres estudios en los años 2016, 2017 y 2018 en relación al comportamiento de presión, límite de fatiga y torque de inserción máximo respectivamente. Para el primero, se realizaron pruebas de presión estática en 11 materiales distintos de PEEK, encontrando que la resistencia a la presión más alta fue alcanzada por muestras que contenían fibras de carbono continuas con valores de  $712.67 \pm 66.02$  MPa. **(Schwitalla AD, 2016)**. Ante los límites de fatiga, se realizó un estudio que buscaba evaluar el comportamiento elástico y estabilidad de forma a largo plazo también comparando 11 materiales distintos de PEEK, también obteniendo la estabilidad más alta el PEEK reforzado con fibras de carbono. **(Schwitalla AD, 2017)**, y finalmente se evaluó el torque de inserción promedio en caso de falla de un diseño pilar/implante cónico con el fin de ver la factibilidad de realizar carga inmediata. Se concluyó que este diseño mostró suficiente resistencia cuando se fabricó con titanio. Pero al ser fabricado a partir de PEEK sin rellenar y CFR-PEEK, no pudieron soportar adecuadamente la fuerza de inserción necesaria para lograr la estabilidad primaria. Sin embargo, la resistencia al torque alcanzable de las dos variantes de PEEK puede ser suficiente para un procedimiento de implantación de dos etapas **(Schwitalla AD, 2018)**.

Finalmente, se encontró un reporte de caso actual en el que se describe la utilización de implantes subperiostales de PEEK el cual parece ser un método aceptable para la rehabilitación protésica de una etapa del maxilar anterior severamente atrófico y edéntulo. (**Mounir, 2018**).

## 2. PEEK como material en aditamentos en implantología:

### Aditamento:

Debido a que la superficie de un aditamento es propensa a formar biofilm subgingival, es que en un estudio realizado por Hahnel y cols, se compararon aditamentos hechos de titanio, zirconia y PEEK, analizando la rugosidad superficial, energía libre superficial, biomasa microbiana y porcentaje de microorganismos muertos en los diferentes biofilms. De esto se determinó que la formación de biofilm en la superficie de los aditamentos de PEEK es igual o menor que un aditamento convencional, sugiriéndolos como aditamento definitivo en implantología. (**Hahnel S, 2015**)

Por otra parte, Kaleli y cols, por medio de un análisis en 3D de elementos finitos, evaluaron el comportamiento biomecánico de coronas realizadas con distintos tipos de materiales para aditamentos, específicamente PEEK y Zirconia en términos de distribución del estrés en el hueso periférico y del implante. Ante esto, los aditamentos de PEEK demostraron menores valores de estrés dentro de la estructura, pero si generaron mayor estrés en la corona, en relación a los de Zirconia. (**Kaleli N, 2018**)

### Pilar de cicatrización:

Koutouzis y col, realizaron un ensayo clínico controlado randomizado sugiriendo que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la reabsorción ósea e inflamación del tejido periimplantar tanto en los aditamentos de PEEK como en los de titanio durante el período de cicatrización inicial. (**Koutouzis, 2011**)

Posteriormente se estudió la formación de ancho biológico peri-implantario y la estabilidad del tejido blando utilizando pilares de cicatrización de PEEK. Ante esto, Mate-Sanchez determinó que el PEEK reforzado con titanio, constituye una alternativa efectiva a los aditamentos convencionales, debido a que presentó altos niveles de biocompatibilidad y preservación de la altura ósea y estabilidad de tejidos blandos. (**Maté-Sanchez de Val, 2016**)

Por otra parte, Rea y cols., realizaron un estudio experimental en perros evaluando en un período de 4 meses la reparación de tejidos blandos y óseos marginales sobre aditamentos de PEEK y titanio, concluyendo que los pilares de cicatrización realizados en PEEK logran un nivel coronal de tejidos duros y blandos correctos, pudiendo éstos ser indicados, reforzando las conclusiones sacadas por Koutouzis. (**Rea, 2017**).

Para evaluar la estabilidad primaria de los implantes se han utilizado varios métodos, entre ellos se encuentra la prueba de percusión eléctrica donde el implante es golpeado 16 veces en un intervalo de 4 segundos con una punta percutora metálica, con el fin de evaluar tanto acústica como ópticamente la capacidad de amortiguación del periodonto o de la interfase hueso-implante. La estabilidad se mide por medio de un acelerómetro montado en la barra de percusión obteniendo valores de -8 (alta estabilidad) a +50 (baja estabilidad). Como aspecto negativo respecto a los pilares de cicatrización de PEEK, es que se encontró que no es viable evaluar la estabilidad primaria del implante luego de la utilización del healing para determinar si ha ocurrido una suficiente oseointegración, por medio de la prueba de percusión electrónica (EPT) debido a su poca fiabilidad, dada principalmente por el bajo módulo elástico del PEEK el cual afecta la duración de contacto con la punta percutora.

#### Aditamento Provisional:

En relación a este ámbito, se analizó la resistencia a la fractura y tipos de falla de pilares provisionales de PEEK y titanio, no encontrando diferencias significativas entre ambos aditamentos a excepción del aditamento de PEEK en el incisivo central, fracturándose por debajo del promedio de cargas

masticatorias en el sector anterior. (**Santing HJ, 2012**). Estos resultados concuerdan con otro estudio realizado por los cuales también encontraron que los aditamentos de PEEK mostraron menores valores de resistencia a la fractura que el titanio. Este estudio recomienda la utilización de aditamentos de PEEK cuando el provisorio para prótesis fija se mantenga en boca por uno a tres meses, no pasado este período (**Agustin-Panadero N, 2015**)

### Tornillos:

La literatura describe resultados contrarios en relación a los tornillos de PEEK, por un lado, Neumann y cols, compararon la resistencia a la fractura de tornillos de PEEK, PEEK reforzado con fibras de carbono y titanio, encontrando que los tornillos de PEEK presentaban una menor resistencia a la fractura en comparación con el titanio, sin encontrar diferencias significativas entre los realizados con PEEK y los reforzados con fibra de carbono. (**Neumann, 2014**). Sin embargo, posteriormente Schwitalla analizando pruebas de tensión máxima sobre tornillos de PEEK, logró concluir que se pueden emplear tornillos hechos de PEEK con un diámetro de 1.6mm siempre que esté reforzado con al menos 50% de fibras de carbono continuas y de forma multidireccional. (**Schwitalla, 2016**)

### 3. PEEK como material de estructura y casquete de prótesis fija sobre implantes

¿Será el PEEK un material adecuado para prótesis fija?, Stawarczyk y cols, se preguntaron esto, realizando 2 estudios in vitro evaluando las propiedades mecánicas del material alcanzando altos valores de carga de fractura como subestructura de prótesis fija plural en los formatos para CAD/CAM y pellets con valores promedio de 1383N, siendo cercanos a la zirconia e incluso mayores que el disilicato de litio, considerando que el PEEK con rellenos inorgánicos se puede usar potencialmente como material de coronas y puentes. (**Stawarczyk, 2013**) (**Stawarczyk 2015**).

Apoyando estos resultados, Nazari y cols, compararon la Resistencia a la fractura de prótesis fijas plurales sobre implantes con excesiva altura coronaria, fabricadas de zirconia, níquel cromo y PEEK. Se concluyó que los materiales de PEEK en espacios de altura coronarias excesivas tienen el potencial de resistir las fuerzas oclusales, aunque las coronas metal cerámica obtuvieron mayor resistencia que éstas. (**Nazari, 2016**). Otro estudio realizado por Taufall y cols, determinaron que existe una relación directa entre el tipo de recubrimiento y la carga de fractura del PEEK. El recubrimiento de tipo digital obtuvo los valores más altos en cuanto a resistencia a la fractura, sugiriendo también que el PEEK es un material adecuado para prótesis fijas plurales. (**Taufall, 2016**).

Teniendo en cuenta la buena resistencia a la abrasión, los atributos mecánicos y la unión adecuada mencionada anteriormente a los materiales compuestos y los dientes, Najeeb opina que se esperaría que una prótesis parcial fija de PEEK tenga una tasa de supervivencia satisfactoria. (**Najeeb, 2016**). Finalmente, se evaluó la influencia de distintos materiales en la capacidad de carga de una prótesis fija plural con retención tipo inlay. Dentro de los resultados obtenidos, el grupo de PEEK obtuvo valores de capacidad de carga entre 800 y 1000N. Por lo tanto, esto lo hace un material lo suficientemente fuerte para aplicaciones clínicas. (**Cenik-Nagas, 2017**).

En nuestra búsqueda bibliográfica, se encontraron dos reportes de caso los cuales hacían referencia al uso de PEEK como estructura de prótesis fija sobre implantes.

Por otro lado, los estudios encontrados respecto al uso de PEEK como cofia, muestran resultados discrepantes. Una investigación in vitro realizada por Tannous y cols, determinó que las cofias realizadas en PEEK tienen una resistencia a las fuerzas más bajas que las realizadas con cromo-cobalto. (**Tannous F, 2012**), por otro lado, se ha descrito que, por medio de la utilización de ácido sulfúrico, se crea una superficie rugosa y químicamente alterada que permite al PEEK unirse de manera más efectiva con resinas hidrofóbicas obteniendo valores adecuados de resistencia a las fuerzas de cizalla. Sugiriendo en este caso, que el PEEK puede ser utilizado bajo resinas compuestas como

material de cofia (**Najeeb, 2016**). Más recientemente, Wachtel y cols, evaluaron la hermeticidad bacteriana de coronas realizadas con cofias de PEEK atornilladas en implantes de titanio durante simulación masticatoria y testeó de momento de flexión, ante esto no se presentó daño ni fuga bacteriana en las coronas de PEEK. (**Wachtel A, 2018**), sin embargo, Ghodsi y cols, buscaron comparar el calce y retención de cofias libres de metal sobre implante fabricadas con zirconia, PEEK, composite, como también evaluar la posible relación entre adaptación interna y retención. Los desajustes de adaptación de la cofia de PEEK fueron muy grandes para ser considerados clínicamente aceptables. Tanto las cofias de PEEK como las de composite no mostraron un desajuste marginal clínicamente aceptable. (**Ghodsi, 2018**)

#### 4. PEEK como material en Implantoprótesis:

Respecto al PEEK en el uso de implantoprótesis, no se logró encontrar mucha información al respecto. El estudio más importante encontrado fue realizado por Malo y cols, realizando un estudio clínico de cohorte prospectivo incluyendo 37 pacientes, realizando 49 prótesis híbridas para arcadas completas de PEEK con resina acrílica soportada por implantes con el concepto de “All on four”. Se obtuvo un 98% de tasa de supervivencia protética. Al año de seguimiento el promedio de hueso remodelado fue de 0.37mm. Se detallaron complicaciones técnicas en relación a la adhesión de la resina al PEEK en 6 casos, todos resolviéndose con creación de retenciones y cambio de primer. Complicaciones mecánicas en 5 pacientes referidas a aflojamiento de tornillo y fractura de diente de resina. El autor sugiere que las prótesis híbridas realizadas con PEEK y resina acrílica soportada por implantes para rehabilitaciones de arcada completa son una alternativa válida terapéutica. Se requiere validación a largo plazo. (**Malo, 2018**). Otros estudios por otra parte han analizado la utilización de PEEK como material para clips de retención en barras redondeadas, teniendo buenos resultados (**Bayer, 2012**) y el comportamiento biomecánico de barras de PEEK en sistemas “All on four” comparadas con níquel cromo, obteniendo malos resultados, obteniendo los peaks de tensiones más grandes en todas las situaciones estudiadas. (**Jaros, 2018**).



Se encontraron dos reportes de caso, uno en que se plantea la utilización de un retenedor de barra hecho de PEEK (**Spies B, 2018**), y el segundo, muestra la utilización de una estructura sobre implantes hecha de PEEK como alternativa a los tratamientos convencionales. (**Zoidis, 2018**).

## CONCLUSIÓN

Con las limitaciones de esta revisión bibliográfica, en relación al PEEK y sus aplicaciones en el área de la implantología podemos concluir:

- El PEEK en su estado puro no modificado, no es adecuado como material de implante dental, sin embargo, al ser reforzado con fibras de carbono y bajo tratamientos de superficie específicos, logra una excelente oseointegración comparable con el titanio y un módulo elástico cercano al hueso cortical, buena resistencia a la presión y comportamiento elástico, pero no óptimo para soportar la fuerza de inserción ante una carga inmediata.
- El PEEK como aditamento protésico demostró un menor valor de distribución de estrés en el hueso periférico e implante, como también una igual o menor formación de biofilm que un aditamento convencional.
- Todos los autores concuerdan que el PEEK como pilar de cicatrización presenta altos niveles de biocompatibilidad y preservación de tejido óseo y blando, recomendando su utilización y como aditamento provisional, muestra menores valores de resistencia a la fractura recomendando su utilización solamente en un período no mayor a 3 meses.
- El PEEK como subestructura de prótesis fija plural logra alcanzar altos valores de resistencia a la fractura, sin embargo, al evaluar la utilización del PEEK como cofia, se presentaron resultados discrepantes respecto al ajuste marginal.
- Las prótesis híbridas realizadas con PEEK y resina acrílica soportadas por implantes para rehabilitaciones de arcada completa son una alternativa terapéutica viable.

- Adicionalmente se valida el uso de tornillos hechos de este material reforzados con fibras de carbono y clips de retención para barras redondeadas en prótesis híbridas sobre implantes.

Actualmente sigue habiendo una falta importante de evidencia científica de tipo experimental in vivo, que logren corroborar de mejor manera los resultados obtenidos en los estudios señalados en este trabajo. Sin embargo, estas investigaciones demuestran por un lado el interés de la comunidad científica por ahondar y estudiar sus características y son en sí, una muy buena base para seguir realizando estudios y análisis en este interesante material, que sin lugar a dudas demuestra tener propiedades y altas posibilidades de poder ser utilizado especialmente en el área de la implantología.