



# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

---

### **Estado del arte y análisis de las principales aplicaciones energéticas del hidrógeno**

Trabajo monográfico  
Que para obtener el grado de  
**Ingeniero en Sistemas de Energía**

---

PRESENTA

**Samuel Juárez Hernández**

ASESORES

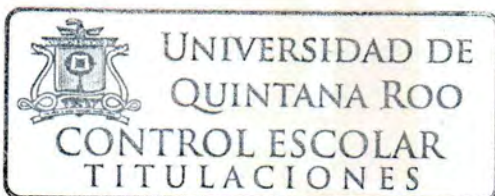
**Dr. Gliserio Romeli Barbosa Pool**

**Dr. José Hernández Rodríguez**

**M.E.S. Roberto Acosta Olea**

**Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar**

**Dr. Fernando Enrique Flores Murrieta**





# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Trabajo monográfico elaborado bajo supervisión del Comité de Asesoría  
y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

### INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA

#### COMITÉ

Supervisor 1:

  
Dr. Gliserio Romeli Barbosa Pool

Supervisor 2:

  
Dr. José Hernández Rodríguez

Supervisor 3:

  
M.E.S. Roberto Acosta Olea

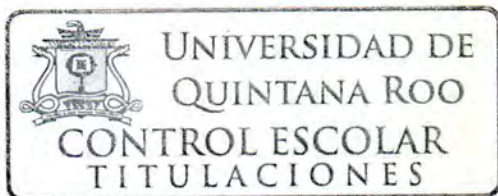
Supervisor 4:

  
Dr. Jaime Silverio Ortega Aguilar

Supervisor 5:

  
Dr. Fernando Enrique Flores Murrieta

CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, FEBRERO 2020



# *AGRADECIMIENTOS*

*A mis profesores de la Academia de Ingeniería en Sistemas de Energía, y de la División de Ciencias e Ingeniería.*

*A los profesores que integran mi comité de titulación, en especial al Dr. Romelí y al M.E.S. Acosta.*

*A mi estimado profesor el Dr. Inocente Bojórquez Báez.*

# **CONTENIDO**

## **RESUMEN**

## **INTRODUCCIÓN**

## **OBJETIVO GENERAL**

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

## **CAPITULO I. Hidrógeno como vector energético**

### **1.1 Descripción del hidrógeno y su aplicación energética**

### **1.2 Visión holística: sistemas híbridos con tecnología del hidrógeno**

### **1.3 Como investigar las tendencias en *ScienceDirect***

## **CAPITULO II. Análisis estadístico de publicaciones del Hidrógeno**

### **2.1 Estudio A**

### **2.2 Estudio B**

### **2.3 Estudio C**

### **2.4 Análisis parcial**

## **CAPITULO III. Análisis general**

## **CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES**

## **ANEXOS**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## RESUMEN

La presente monografía se enfoca en la búsqueda y análisis cuantitativo de las publicaciones científicas realizadas por la editorial Elsevier en la investigación del hidrógeno como vector energético, durante el periodo del año 2000 al año 2018. Se hace énfasis a los temas relacionados con desarrollo tecnológico y generación de energía renovable, con la finalidad de conocer su evolución, la cantidad y variedad de temas en el tiempo, así como averiguar cuál es el estado del arte en proyectos de energías renovables donde incluyan procesos de energía, producción y almacenamiento de hidrógeno. La monografía está organizada de la siguiente manera: En el Capítulo I se realiza la descripción del vector energético, de su compatibilidad con sistemas de energía renovables primarios (fotovoltaico-eólico), y se presenta el motor de búsqueda de la editorial Elsevier ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)). En el Capítulo II se condensa la búsqueda de temas prioritarios del hidrógeno, con la intención de profundizar en búsquedas especializadas, se dividen en temas principales y temas secundarios, se presenta un análisis estadístico de los artículos publicados en el periodo 2000 al 2018. En el Capítulo III se realiza un análisis general de las principales propuestas en proyectos de ciencia aplicada e ingeniería, con las aportaciones de un selecto número de documentos para descubrir cuáles son las resoluciones que aporta el hidrógeno en materia de generación de energía eléctrica y donde se encuentran las potenciales áreas de mejora. Y por último, se presentan las conclusiones de este trabajo de investigación.

## INTRODUCCIÓN

El modelo energético mundial está tomando un nuevo rumbo debido fundamentalmente a la crisis existente en el mercado del petróleo (derivado de la sobreexplotación de las reservas de hidrocarburos). Los combustibles fósiles suponen una fuente agotable de recursos además de que representan un alto grado de emisión de gases de efecto invernadero. Se han propuesto gran variedad de recomendaciones para contribuir a disminuir la emisión de contaminantes, a través del uso de combustibles con menos carbono, mejorando la intensidad energética a través de programas de ahorro de energía, diversificando la canasta energética con un consecuente aumento en la utilización de las fuentes de energías renovables e impulsando las celdas de combustible de hidrógeno como sistema energético del futuro.

Con esta perspectiva, la producción de hidrógeno está adquiriendo cada día más importancia dado que en el mundo actual, existe una demanda de energía en continuo aumento, lo cual favorece la diversidad de las formas de energía, no sólo electricidad a partir de tecnologías no contaminantes o que contaminen en menor proporción al ambiente, sino también energía para los diferentes sectores comerciales como son: el transporte, la industria, el residencial y en general para llevar a cabo la mayoría de las tareas necesarias para mantener el crecimiento económico de un país.

En la bibliografía se observa un incremento importante de investigaciones del hidrógeno, en el presente siglo, como vector energético y su integración en sistemas energéticos tanto alternativos (por ejemplo, eólico y fotovoltaico) como convencionales (por ejemplo, centrales de ciclo combinado). Dentro de las tecnologías del hidrógeno se encuentran temas que sobresalen ya sea por su importancia implícita, por los retos u oportunidades que representan, o por los recientes avances o novedades que aportan. Es importante analizar cuantitativamente la investigación y desarrollo del hidrógeno, para conocer y estimar su interacción con las necesidades energéticas presentes y futuras.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar estadísticamente los resultados de la revisión de artículos científicos orientados a temas importantes para las investigaciones del hidrógeno como vector energético, y analizar ejemplos en proyectos energéticos donde se implementen estas tecnologías.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- 1.- Conocer el número anual de publicaciones para ver su evolución en cantidad desde el 2000 al 2018.
- 2.- Determinar el tipo de artículo para conocer la orientación de las publicaciones.
- 3.- Especificar títulos de revista donde se publican más artículos de los temas investigados.
- 4.- Comparar los temas unas con respecto a otros, buscando relacionar las probables causas para la cantidad y la frecuencia de sus aportes, en especial en lo referente a energía del hidrógeno.
- 5.- Analizar el estado del arte las aplicaciones más relevantes de la tecnología del hidrógeno, sus limitantes y progresos en proyectos de generación eléctrica.



## **CAPITULO I. Hidrógeno como vector energético**

El hidrógeno en calidad de vector energético (portador de energía) se pronostica como un candidato ideal con múltiples aplicaciones: utilizado en equipos de combustión para generación combinada de calor y electricidad, en celdas de combustible para propulsión en vehículos eléctricos, generación de electricidad, entre otros. Es importante señalar que el hidrógeno no es un recurso natural y debe obtenerse a partir de otras materias primas (agua, biomasa, combustibles fósiles), y a través de una serie de transformaciones en las que se consume alguna fuente de energía como pueden ser la renovable (eólica, solar, biomasa, hidroeléctrica, geotérmica) o la fósil (oxidación parcial, reformado de metano con vapor, gasificación del carbón). Esta variedad de opciones es la que permite al hidrógeno ser producido casi en todos los lugares de la tierra.

La generación de electricidad presenta la mayor oportunidad para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y se prevé que la tecnología del hidrógeno desempeñará un papel importante en la realización del escenario para limitar el calentamiento global a 2 °C a través del reemplazo de combustibles fósiles por energías renovables [1].

### **1.1 Descripción del hidrógeno y su aplicación energética**

El hidrógeno (símbolo H) es un gas inodoro, incoloro e insípido; es el elemento más simple y abundante de todo el universo, combinado forma agua, los ácidos e hidróxidos, el petróleo y toda la materia orgánica. Como hidrógeno libre se le puede hallar en las emisiones volcánicas, ya que en los gases volcánicos se encuentra hasta 30 % en volumen [2] y en la estructura de ciertas rocas, pero como elemento químicamente combinado se halla presente en el agua formando el 11 % en peso [2], en toda materia orgánica, en el gas natural, el petróleo y el carbón. Algunas propiedades fisicoquímicas más comunes del hidrógeno son:

Elemento químico de número atómico 1 y de masa atómica 1.007.

En estado gaseoso es más liviano que el aire y se difunde rápidamente ascendiendo hacia la alta atmósfera, el aire es 14.4 veces más pesado [3].

El hidrógeno es combustible ardiendo en aire u oxígeno con llama casi invisible a la luz del día, de color azul pálido, con muy poco calor irradiado de la llama, formando agua.

Debido a que el hidrógeno posee la más alta relación de energía respecto a la masa en comparación con todos los combustibles y transportadores de energía



(carriers), 1 kg de H contiene tanta energía como 2.1 kg de gas natural o tanto como 2.8 kg de petróleo [3].

No oxida.

No es tóxico, a menos que contenga impurezas (CO, As, H<sub>3</sub>, etc.).

No es corrosivo.

No es radiactivo.

Los aspectos más destacados del hidrógeno en lo que a seguridad se refieren, es su inflamabilidad y su flotabilidad. El hidrógeno es altamente inflamable, lo que significa que reacciona fácilmente con el oxígeno y cuando quema produce agua; es precisamente por lo que el hidrógeno es llamado como un combustible limpio. Su flotabilidad se debe a que posee una escasa densidad energética por unidad de volumen, que dificulta su transportación.

Mediante el uso de hidrógeno en celdas de combustible, se pueden evitar completamente las emisiones de gases de efecto invernadero. En el proceso de generación de energía mediante hidrógeno y el oxígeno del aire, el producto de la reacción es sólo agua, exenta de minerales, como el agua destilada.

Las diferentes celdas de combustible presentan propiedades específicas desde el punto de vista de la alimentación del combustible, de las temperaturas de funcionamiento y de las aplicaciones que se derivan de la misma. A continuación, la clasificación de las celdas de combustible:

**Alcalinas** (AFCs, *Alkaline Fuel Cells*), eficiencias superiores al 70 %.

**Ácido fosfórico** (PAFCs, *Phosphoric Acid Fuel Cells*), eficiencia 40 %.

**Óxido sólido** (SOFCs, *Solid Oxide Fuel Cells*), altas temperaturas (1000 °C), eficiencia entre 60 y 85 % cuando la celda es mayor a 100 kW.

**Carbonato fundido** (MCFCs, *Molten-Carbonate Fuel Cells*), potencias de entre 10 kW a 2 MW (620 a 660 °C),

**Metanol directo** (DMFCs, *Direct Methanol Fuel Cells*), metanol como combustible, densidad de carga baja.

**Zinc-aire** (ZAFCs, *Zinc Air Fuel Cells*), también pueden ser consideradas como baterías, ya que su combustible es regenerado de manera automática mientras ocurren los procesos (no sin la intervención de una fuente externa como celdas solares para la electrólisis), superiores en densidad de carga a las baterías para uso de vehículos eléctricos.

**Cerámicas de intercambio protónico** (PCFCs, *Protonic Ceramic Fuel Cells*), operan a muy alta temperatura, su membrana conduce protones, se pueden introducir directamente en ella los hidrocarburos y oxidarlos electroquímicamente.

**Biológicas** (BFCs, *Biological Fuel Cells*), se utiliza un medio acuoso, y en vez de suministrar como catalizador a un metal noble, se utiliza un microorganismo o una enzima, eficiencia baja (de entre 15 y 25 %).

**Membrana de intercambio protónico** (PEMFCs, *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells*).

## 1.2 Visión holística: sistemas híbridos con tecnología del hidrógeno

Los sistemas híbridos se presentan como una solución viable, segura y efectiva para minimizar los problemas asociados a la dependencia de las energías renovables con los recursos ambientales. De esta forma, diferentes sistemas renovables, como fotovoltaico, eólico, hidrógeno, etc., pueden trabajar juntos para configurar sistemas de energía híbridos (HES, *hybrid energy systems*). Sin embargo, hacer que funcionen correctamente de manera holística creando sinergias entre ellos no es una tarea fácil. Recientemente, la tecnología del hidrógeno ha aparecido como prometedora para hibridar los sistemas de energía renovable, ya que permite la generación (por electrolizadores) y el almacenamiento de hidrógeno cuando hay un excedente de energía en el sistema, y en un momento posterior (por ejemplo, cuando no hay suficientes recursos renovables disponibles) utilizando el gas almacenado para generar energía eléctrica mediante celdas de combustible.

Las topologías aisladas de HES presentan problemas relacionados con el bajo rendimiento y la baja seguridad para satisfacer la demanda. Para resolver el último problema, es común sobredimensionar el equipo de almacenamiento, aumentando el costo de inversión [4]. Del mismo modo, en caso de exceso de energía, el exceso de energía debe descartarse y, por tanto, reduce el rendimiento del sistema. Las topologías interconectadas a la red permiten que la red se incluya como un activo parte del sistema, y por lo tanto optimizar el sistema durante el exceso o déficit de energía [4]. La revisión de la literatura divulga que los HES basados en energía renovable no tienen costos competitivos contra los sistemas convencionales de energía de combustibles fósiles. Sin embargo, la necesidad de energía más limpia y mejoras en las tecnologías de energía alternativa presenta un buen potencial para el uso frecuente de tales sistemas.

En un HES el concepto de suministro de electricidad, ver Figura 1.1, se basa en generar CD fotovoltaico y/o eólico con hidrógeno como portador de energía, tiene dos clasificaciones: a) conexión en paralelo de electricidad y energía del hidrógeno y b) conexión en serie de electricidad y energía del hidrógeno.

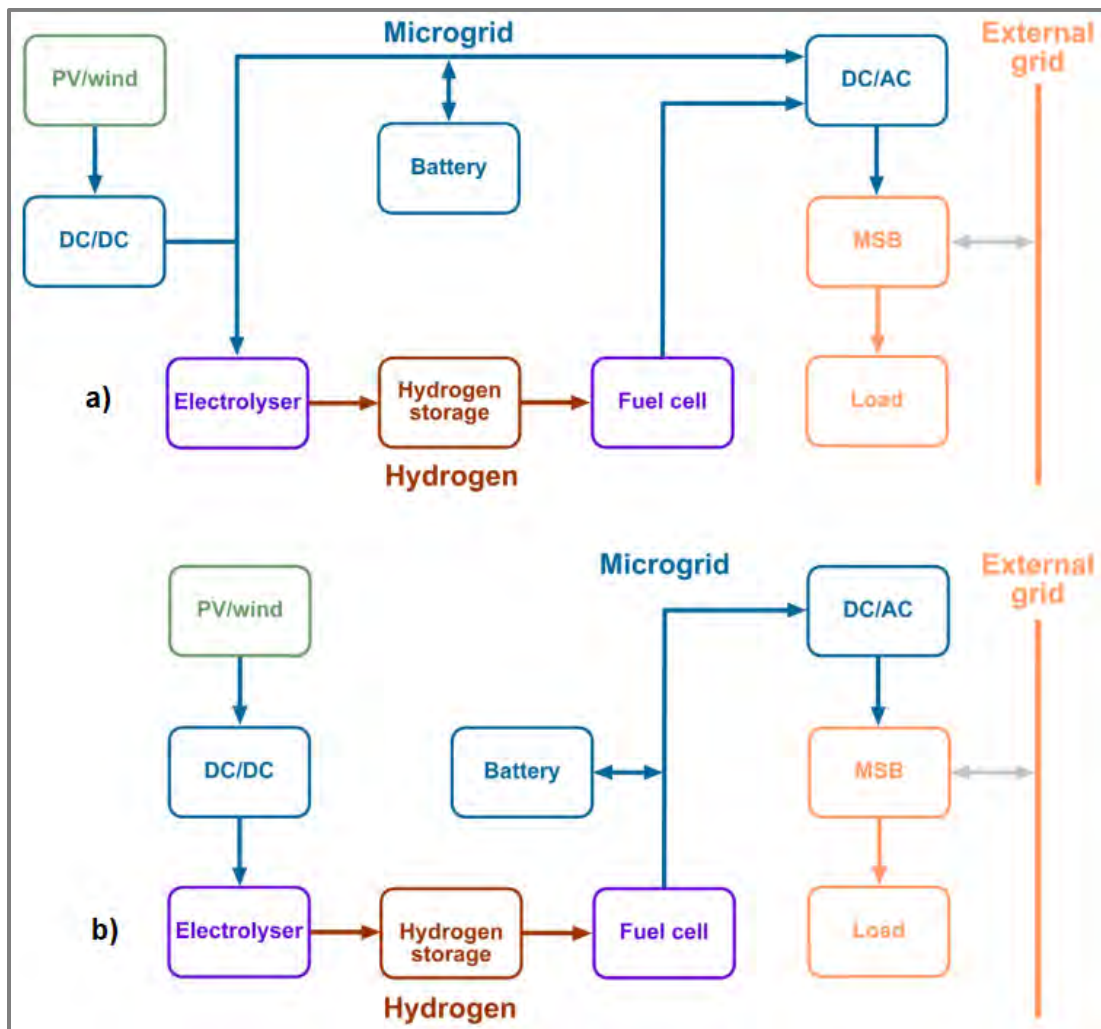


Figura 1.1. a) Diagrama de conexión en paralelo de electricidad e hidrógeno, y b) Diagrama de conexión en serie de electricidad e hidrógeno. Fuente: E.L.V. Eriksson y E. MacA. Gray [1].

La conexión en serie del HES con HT, ver Figura 1.1, el primer paso es la generación en CD (*PV/wind*), la corriente avanza al electrolizador (*Electrolyzer*) donde se genera el hidrógeno, mismo que es almacenado (*Hydrogen storage*), y después aprovechado por la celda de combustible (*Fuel Cell*), en seguida la corriente llega al inversor (*DC/AC*) y en el camino recarga el banco de baterías (*Battery*), después al sistema de medición bidireccional (*MBS*) quien la inyecta a la red eléctrica o la energía finaliza alimentando la carga (*Load*).

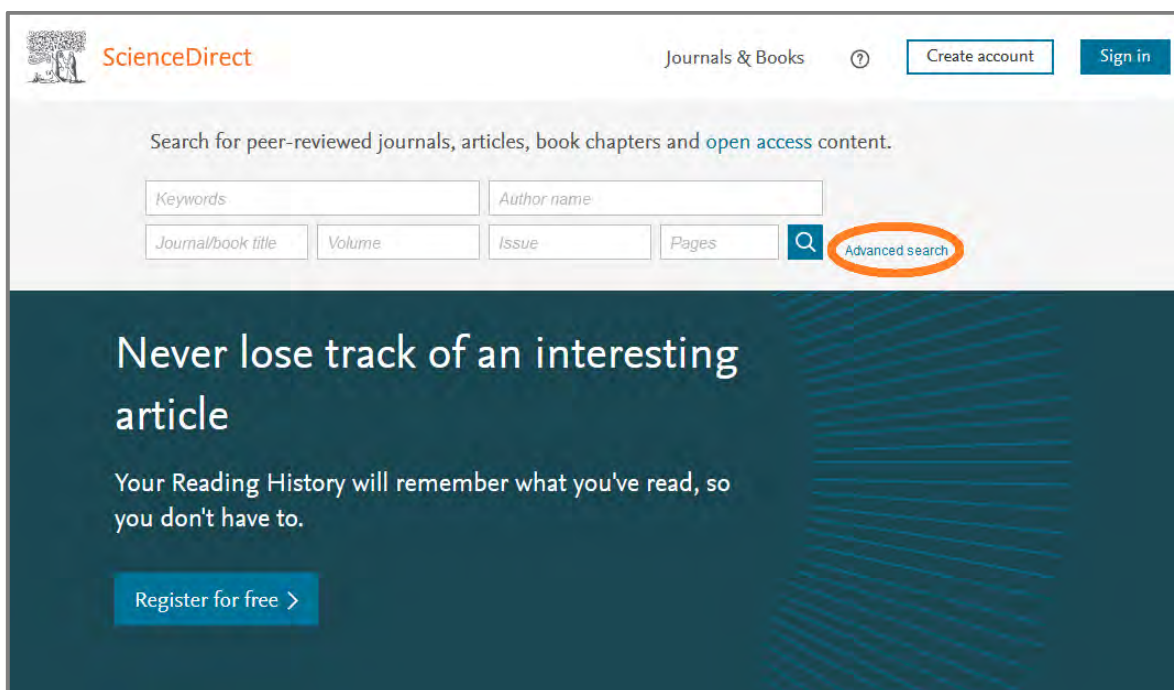
En la conexión en paralelo del HES con HT, ver Figura 1.1, el primer paso es la generación en CD (*PV/wind*), seguido de dos ramificaciones, la corriente va directo al inversor (*DC/AC*) y en el camino llena el banco de baterías (*Battery*), después al sistema de medición bidireccional (*MBS*) quien la inyecta a la red eléctrica o la energía termina en alimentado la carga (*Load*). La otra derivación va al electrolizador (*Electrolyzer*) donde se genera el hidrógeno, mismo que es almacenado (*Hydrogen storage*), en seguida es aprovechado por la celda de combustible (*Fuel Cell*), la corriente pasa al inversor

(DC/AC), se despacha al sistema de medición bidireccional (MBS) donde otra vez, o se inyecta a la red eléctrica o la energía termina alimentado la carga (Load).

Los métodos de producción de hidrógeno están basados en la separación de éste a partir de materias primas que lo contienen. La materia prima dicta el método de separación a aplicar. Esta investigación monográfica se interesa por los métodos de separación de electrólisis del agua, incluyendo el electrolizador alcalino, electrolizador PEM y electrolizador de óxido sólido.

### 1.3 Como investigar las tendencias en *ScienceDirect*

La búsqueda se efectuó a través de la página de *ScienceDirect* ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)), dando clic en herramientas de búsqueda avanzada “*Advanced search*”, ver Figura 1.2.



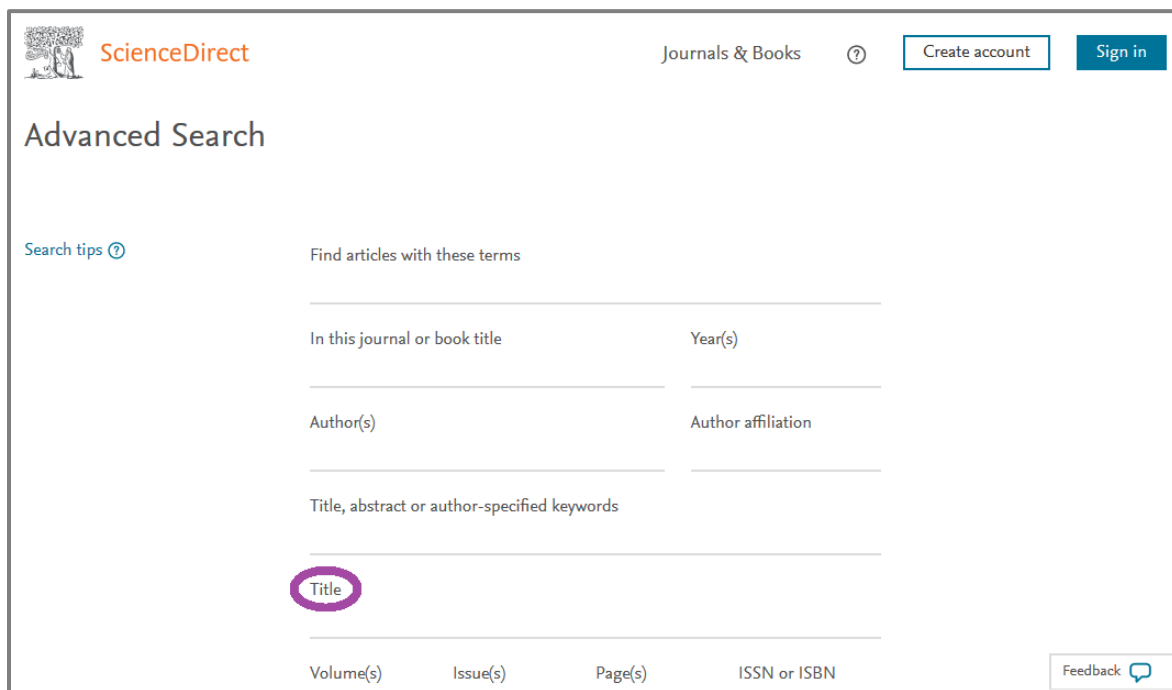
**Figura 1.2. Imagen de la Captura de pantalla de *ScienceDirect*. Encerrado en naranja el botón de búsqueda avanzada. Fuente: elaboración propia.**

A continuación, seleccionar las opciones “*Title, abstract or author-specified keywords*” y “*Year*”, ver Figura 1.3, requeridos en una búsqueda personalizada, con “*Year*” se establece el intervalo de años, y con el otro campo se ingresan las palabras de interés ubicadas en el título, resumen o palabras clave, elementos básicos en el cuerpo de un artículo de investigación.



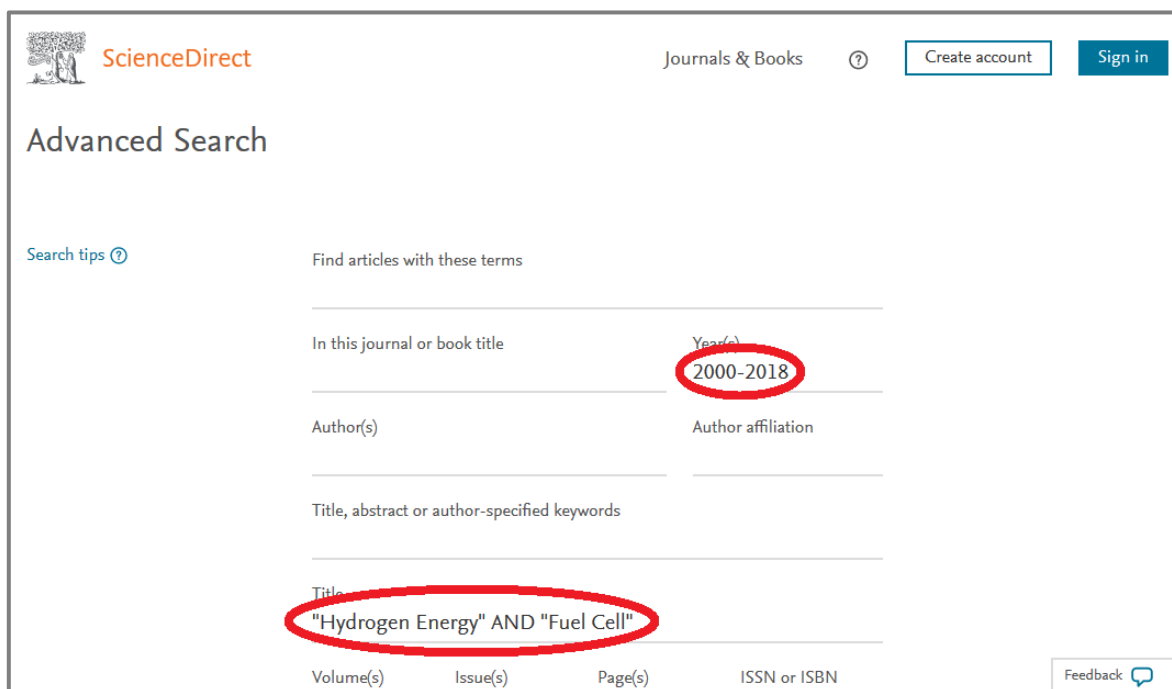
**Figura 1.3. Imagen de la captura de pantalla de búsqueda avanzada. Encerradas las herramientas de: año (en azul), título, resumen o palabras clave (en verde), y mostrar todos los campos (en marrón). Fuente: elaboración propia.**

También se hace uso de la opción “*Title*” donde se escriben las palabras a encontrar en el título de los artículos (Figura 1.4). Para visualizar “*Title*” se da clip en mostrar todos los campos “*Show all fields*” (Figura 1.3).



**Figura 1.4. Imagen de la captura de pantalla de búsqueda avanzada. Encerrado en púrpura la herramienta de título. Fuente: elaboración propia.**

Dentro de las herramientas encerradas en verde y púrpura, ver Figuras 1.3 y 1.4, respectivamente, es posible ingresar conectores booleanos, en la presente investigación se utiliza “AND” y “OR” para condicionar una pesquisa cuando se trata de dos o más temas escritos en la misma opción, como se verá en el Capítulo II. Con “AND” el motor de búsqueda entiende que los artículos deben incluir todos los conceptos ingresados (Figura 1.5), y con “OR” encuentra los artículos que tengan al menos uno de ellos, pues con eso es suficiente.



ScienceDirect Journals & Books ? Create account Sign in

### Advanced Search

Search tips ?

Find articles with these terms

In this journal or book title Year(s) 2000-2018

Author(s) Author affiliation

Title, abstract or author-specified keywords

Title "Hydrogen Energy" AND "Fuel Cell"

Volume(s) Issue(s) Page(s) ISSN or ISBN Feedback ?

**Figura 1.5. Imagen de la captura de pantalla con ejemplo de búsqueda avanzada. Encerrados en rojo el intervalo de años y el uso de “AND” con las palabras (conceptos) entre comillas.**

**Fuente: elaboración propia.**

Es importante escribir entre comillas cuando se trata de dos o más palabras, ver Figura 1.5. En caso de no hacerlo se pierde el concepto, es decir, la búsqueda de las palabras se realiza sin los requisitos de estar juntas y en ese orden, dando un resultado aleatorio y ambiguo.

Una vez completadas las herramientas de interés en búsqueda avanzada, dar clic en “Search” (Figura 1.3), a continuación tomar nota de: resultado “Results” que es el número total de artículos encontrados, años “Year” el cual indica el número de artículos publicados en cada año, tipo de artículo “Article type” donde se clasifica la orientación de las publicaciones (Anexo D), y título de revista “Publication title” acá están las revistas con mayor número de publicaciones (Anexo E), ver Figura 1.6.

64 results **Número total de artículos** sorted by *relevance* | [date](#)

[Set search alert](#)

Refine by:

Years **Artículos por año**

2018 (3)

2017 (8)

2016 (7)

[Show more](#) ▾

Article type **Tipo de artículo**

Research articles (3)

Conference abstracts (23)

Correspondence (2)

Discussion (8)

[Show more](#) ▾

Publication title **Título de revista**

International Journal of Hydrogen Energy (36)

Fuel and Energy Abstracts (22)

Fuel Cells Bulletin (3)

[Show more](#) ▾

Research article

Application of **fuel cell** and electrolyzer as **hydrogen energy** storage system in **energy** management of electricity **energy** retailer in the presence of the renewable **energy** sources and plug-in electric vehicles

Energy Conversion and Management, Volume 136, 15 March 2017, Pages 404–417

Sayyad Nojavan, Kazem Zare, Behnam Mohammadi-Ivatloo

Research article

Comparative assessment of two integrated **hydrogen energy** systems using electrolyzers and **fuel cells**

International Journal of Hydrogen Energy, Volume 41, Issue 44, 26 November 2016, Pages 19836–19846

F. Khalid, M. Aydin, I. Dincer, M. A. Rosen

Want a richer search experience?  
Sign in for additional filter options, multiple article downloads, and more.

[Sign in](#) >


Erratum

Retraction notice to “A new approach on morphological features of synthesized graphene using the LPCVD technique applicable for **fuel cell** membrane” [Int J Hydrogen Energy 42 (2017) 1161–1169]

International Journal of Hydrogen Energy, Volume 43, Issue 4, 25 January 2018, Page 2527

R. Alipour, A. Jafari, A. Salar Elahi, M. Ghoranneviss

Erratum

[Feedback](#) 

**Figura 1.6. Imagen de la captura de pantalla con ejemplo de una búsqueda realizada. Señalados con fechas los elementos con datos por analizar. Fuente: elaboración propia.**

Como dato adicional, la pestaña de “*Publication title*” revela el nombre de hasta diez revistas con el mayor porcentaje de artículos, es decir, es posible observar máximo un top diez de revistas con más publicaciones del tema en orden descendente (Figura 1.6). El número total de artículos puede ser mayor a la suma del top de revistas, en esos casos se deduce que el número de revistas rebasa al contador de título de revista.

Por último, si bien es cierto que *ScienceDirect* tiene más herramientas en búsqueda avanzada, el presente trabajo monográfico se limita al uso de tres: 1) título, resumen o palabras clave, 2) título y 3) intervalo de años (Figura 1.5). Estos parámetros son suficientes para cumplir con los objetivos del mismo.



## CAPITULO II. Análisis estadístico de publicaciones del Hidrógeno

La investigación se divide en dos ramas, primero ocho relevantes Temas Principales (TPr) relacionados con el hidrógeno: Hidrógeno (Hy, *Hydrogen*), Energía del Hidrógeno (HE, *Hydrogen Energy*), Producción de Hidrógeno (HP, *Hydrogen Production*), Almacenamiento de Hidrógeno (HS, *Hydrogen Storage*), Electrolizador Alcalino (AE, *Alkaline Electrolyzer*), Electrolizador PEM (PEM-E, *PEM Electrolyzer*), Electrolizador de Óxido Sólido (SOE, *Solid Oxide Electrolyzer*) y Electrólisis del Agua (WE, *Water Electrolysis*); los cuales son complementados con seis Temas Secundarios (TSe) cuya función es profundizar en el análisis de cada TPr: Celda de Combustible (FC, *Fuel Cell*), Energía Renovable (RE, *Renewable Energy*), Sistemas de Energía Híbridos (HES, *Hybrid Energy Systems*), Tecnología del Hidrógeno (HT, *Hydrogen Technology*), Dimensionamiento (Sg, *Sizing*) y Vehículo Eléctrico (EV, *Electric Vehicle or Electric Car*).

Como ya se explicó en el Capítulo anterior, *ScienceDirect* es un motor de búsqueda con base de datos especializada en publicaciones científicas, la síntesis de las pesquisas y su nomenclatura se describen en el Anexo F y el Anexo G, respectivamente. La búsqueda y análisis de los TPr y los TSe se clasifica en Estudios A, B y C, ver Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación de los Estudios A, B y C, y su búsqueda en *ScienceDirect*.

Estudio	Herramientas (opciones)	Tema	Periodo
A1	Year		2000-2018
	Title	TPr	
A2	Year		2000-2018
	Title, abstract or author-specified keywords	HE	
	Title	TPr	
B3-B10	Year		2000-2018
	Title, abstract or author-specified keywords	TSe	
	Title	TPr	
C11	Year		2000-2018
	Title	TPr & Sg	

Se escogió la herramienta “*Title*” para los TPr con el objetivo de resaltar su importancia en el análisis de un artículo (Tabla 2.1), si el TPr se lee en el título es indiscutible que el documento lo aborda y prioriza. Los TSe están en la opción de “título, resumen o palabras clave” (Tabla 2.1), entonces la probabilidad de encontrarlos aumenta, y a la vez, se vuelve aleatorio visualizarlos en al menos una de las tres secciones del artículo, por tanto, su relevancia disminuye.

Lo primordial en cada Estudio es identificar los siguientes aspectos: i) el “número anual” de publicaciones para ver su evolución en cantidad de aportes del 2000 al 2018, ii) el “tipo de artículo” para analizar cuál es orientación de las publicaciones (Anexo D), e iii) cuales son las “revistas” donde se publican más artículos de cada tema (Anexo E). Y en el Anexo F se redacta la cifra total de artículos, de cada uno de los Estudios.

## 2.1 Estudio A

El Estudio A consta de dos etapas: A1) primero se analiza individualmente los TPr, y A2) se compara la HE contra los otros siete TPr (Tabla 2.2), pues la HE es de relevancia central en este trabajo monográfico.

Tabla 2.2. Organización de búsqueda avanzada (*ScienceDirect*) del Estudio A.

Clasificación	Herramientas		Tema
A1	Title	Year	TPr uno a uno
A2	Title, abstract or author-specified keywords		Siete de los TPr
	Title	Year	HE

Es importante advertir que solo se incluyen y analizan los Estudios que arrojaron resultados, es decir, las pesquisas donde no se encontró al menos una publicación quedaron descartadas. Los detalles estadísticos se agrupan en el Anexo A.

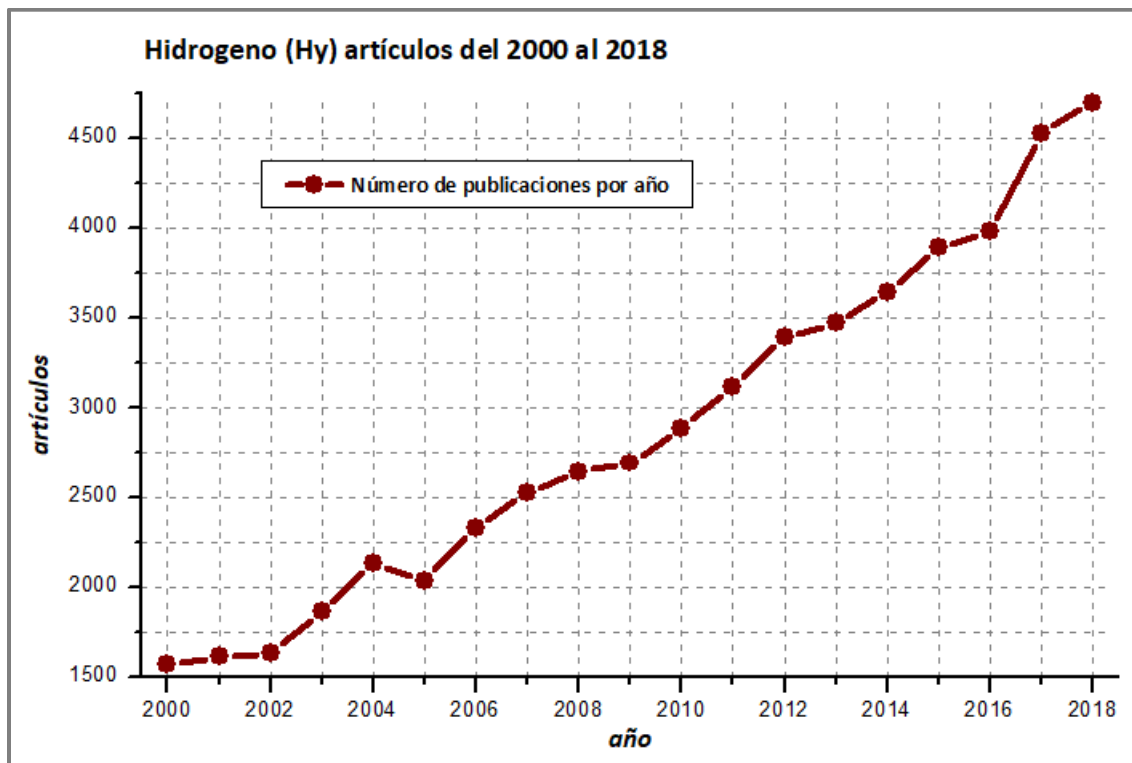


Figura 2.1. Número de artículos por año del Hy, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de *ScienceDirect*.

**A1) Hy.** Tendencia de crecimiento anual casi lineal, comenzando en 1,569 y concluyendo con 4,698 artículos, ver Figura 2.1, en total 54,665 (Anexo F). Probablemente el alza se debe a que las líneas de investigación del Hidrógeno son tendencia en energía alterna, celdas de combustible, sistemas de energía híbridos, vehículos eléctricos, entre otros. El top de revistas (Anexo A-I) nota enorme diferencia entre el primer puesto y los demás: *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Journal of Alloys and Compounds* (2do), *Fuel Cells Bulletin* (3ro) y *Applied Catalysis A: General* (4to), tienen 10,596, 1,963, 1,244 y

1,233, respectivamente, los restantes seis posiciones andan entre 800 y 900 ejemplares. El tipo de artículo (Anexo A-I) dominante es “artículos de investigación” con 44,335 equivalente al 81.10 %. Los aportes del 2010 al 2018 representan el 61.5 % (Anexo F) lo cual refleja que las investigaciones del Hidrógeno tienen más apogeo ahora que en la pasada década.

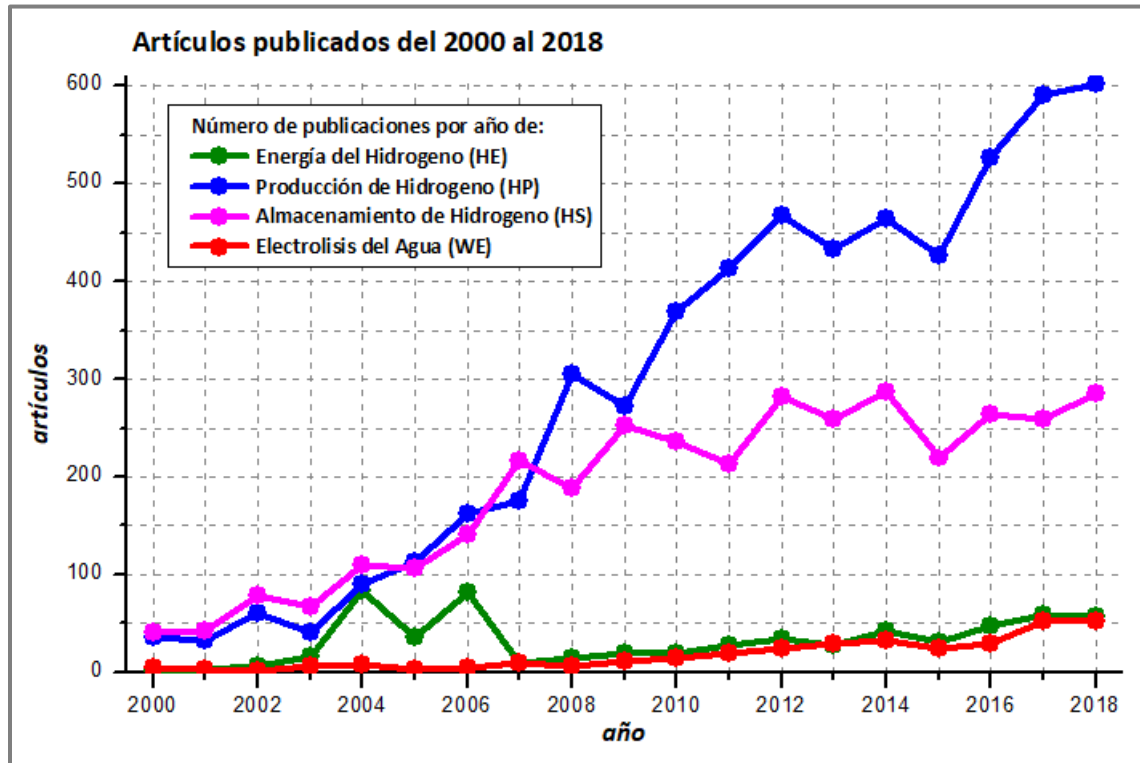


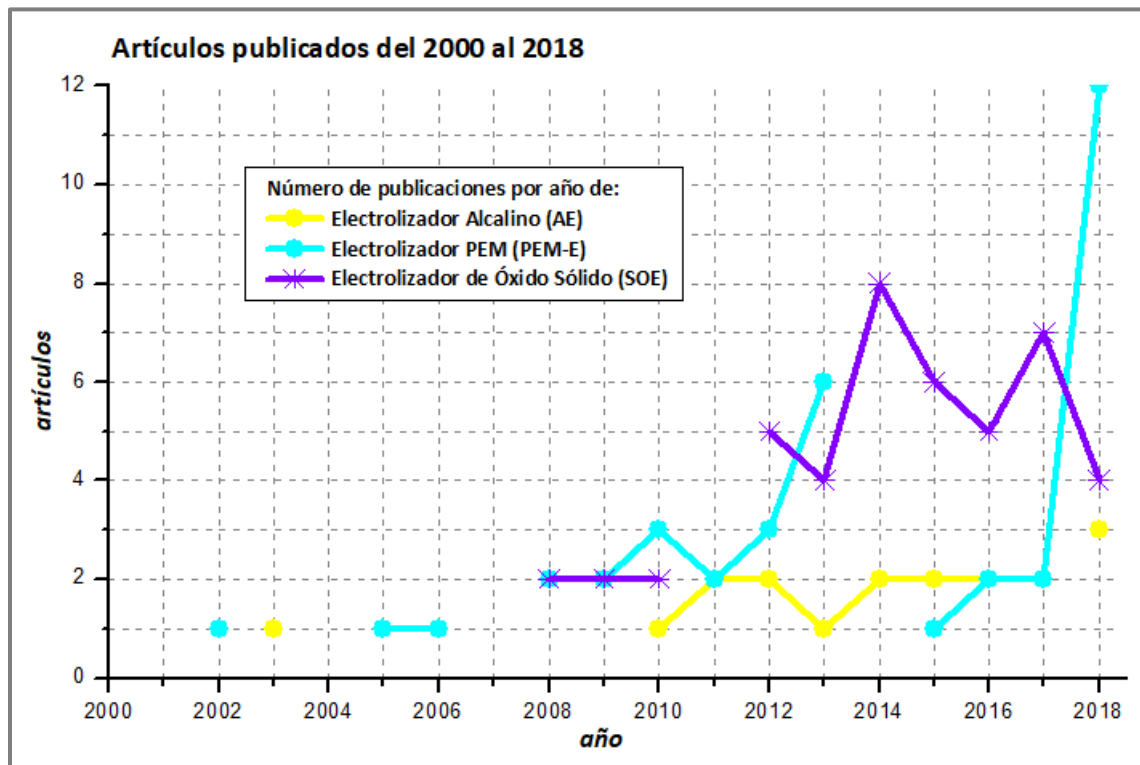
Figura 2.2. Número de artículos por año de HE, HP, HS y WE, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de ScienceDirect.

**A1) HE.** De intermitente aumento, iniciando en 2 y finalizando con 57 artículos, record máximo de 84 y 82 publicaciones, en 2004 y 2006, respectivamente, ver Figura 2.2, en total 625 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-II): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Fuel and Energy Abstracts* (2do) y *Fuel Cells Bulletin* (3ro), con 295, 182 y 42, respectivamente, el cuarto tiene 10, y los últimos seis lugares, menos de 9 ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo A-II) sobresalen “artículos de investigación, resumen de conferencia y errata”, con, 128, 186 y 134 documentos, respectivamente, y juntos suman el 72 %; cabe señalar que HE es el único Estudio con tres punteros y además, “artículos de investigación” es desplazado al tercer puesto.

**A1) HP.** De constante crecimiento, comenzando en 36 y concluyendo con 601 artículos, ver Figura 2.2, en total 5,584 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-III): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Bioresour Technol* (2do), con 2,617 y 220, respectivamente, del tercero al sexto puesto reportan entre 175 y 111, y del séptimo en adelante menos de 100 ejemplares. El tipo de artículo (Anexo A-III) dominante es “artículos de investigación” con 4813 equivalente al 86.2 %, después “artículos de

revisión, capítulos de libro, resumen de conferencia y comunicado breve”, con 185, 109, 144 y 226 documentos, respectivamente.

**A1) HS.** Iniciando en 41 y finalizando con 285 artículos, desde 2009 muestra una tendencia por arriba de 200 publicaciones, ver Figura 2.2, en total 3,550 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-IV): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Journal of Alloys and Compounds* (2do) y *Journal of Power Sources* (3ro), con 1,500, 616 y 131, respectivamente, y del cuarto en adelante menos de 70 documentos. El tipo de artículo (Anexo A-IV) mayoritario es “artículos de investigación” con 4813 representando el 86.2 %, y “comunicado breve” con 146 aportes.



**Figura 2.3. Número de artículos por año de AE, PEM-E, y SOE, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de ScienceDirect.**

**A1) AE.** Sumando 16 artículos (Anexo F) y racha de una o dos publicaciones del 2010 al 2016, ver Figura 2.3, el AE es una línea científica emergente, pues 15 aportes se han realizado del 2000 al 2018. El top de revistas (Anexo A-V): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Energy Procedia* (2do), con 5 y 2, respectivamente, a partir del tercer lugar, 1 documento. El tipo de artículo (Anexo A-V) donde “artículos de investigación y noticias”, con 15 y 1 ejemplares, respectivamente.

**A1) PEM-E.** Limitado incremento y con años sin publicaciones, siendo el 2018 el más fructífero, ver Figura 2.3, con 12 artículos de un total de 38 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-VI): *International Journal of Hydrogen Energy* con 23, del segundo al cuarto escalón con 2, y desde el cuarto lugar 1 documento. El tipo de artículo (Anexo A-VI)

sobresalen “artículos de investigación, capítulos de libro, discusión y comunicado breve”, con 34, 2, 1 y 1 aportes, respectivamente.

**A1) SOE.** De reciente tendencia científica, del 2012 al 2018 se encuentra la mayoría de sus artículos, ver Figura 2.3, solo 4 documentos en la pasada década, en total 45 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-VII): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Journal of Power Sources* (2do) y *Electrochimica Acta* (3ro), con 19, 8 y 4, respectivamente, y los últimos siete tienen menos de 4 ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo A-VII) donde “artículos de revisión, artículos de investigación y comunicado breve”, con 1, 43 y 1 aportes, respectivamente.

**A1) WE.** De constante aportación, comenzando en 5 y concluyendo con 53 artículos, ver Figura 2.2, en total 341 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-VIII): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Electrochimica Acta* (2do), *Journal of Power Sources* (3ro) y *Journal of Membrane Science* (4to), con 144, 34, 32 y 10, respectivamente, y desde el quinto, menos de 9 documentos por año. El tipo de artículo (Anexo A-VIII) dominante es “artículos de investigación” con 278 representando el 81.52 %, después “artículos de revisión y comunicado breve”, con 15 y 24 aportes, respectivamente.

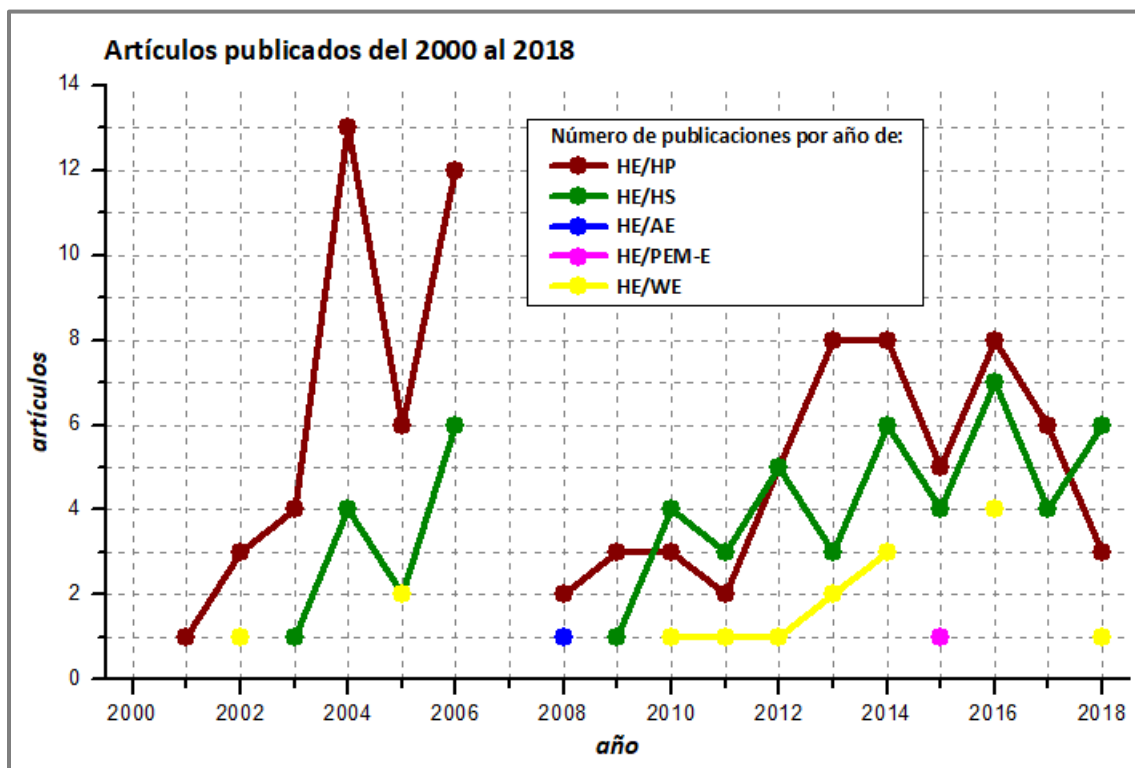


Figura 2.4. Número de artículos por año de HE/HP, HE/HS, HE/AE, HE/PEM-E, y HE/WE, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de ScienceDirect.

**A2) HE/HP.** De accidentada evolución, iniciando en 1 y finalizando con 3 artículos, record máximo de 13 y 12 publicaciones en 2004 y 2006, respectivamente, ver Figura 2.4, en total 92 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-IX): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Fuel and Energy Abstracts* (2do), con 43 y 29, del tercero al sexto escalón

tienen 2, y los últimos cuatro, 1 documento cada uno. El tipo de artículo (Anexo A-IX) sobresalen “artículos de investigación, resumen de conferencia y errata”, con, 27, 29 y 12 documentos, respectivamente, y juntos alcanzan el 73.91 %; cabe señalar que HE/HP es un Estudio con dos punteros y además, “artículos de investigación” es desplazado al segundo puesto.

**A2) HE/HS.** Comenzando en 1 y concluyendo con 6 artículos, con dos rachas de publicaciones similares al HE/HP, pero menor en cantidad, ver Figura 2.4, en total 56 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-X): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Fuel and Energy Abstracts* (2do), con 25 y 11, y los otros ocho puestos, menos de 5 ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo A-X) donde “artículos de investigación, resumen de conferencia y errata”, con 22, 11 y 8 aportes, respectivamente, representando el primero el 39.29 %.

**A2) HE/AE.** Se tiene registro (Anexo F) en 2008 de 1 ejemplar, ver Figura 2.4, para “artículos de investigación” de la *International Journal of Hydrogen Energy*.

**A2) HE/PEM-E.** Se tiene registro (Anexo F) en 2015 de 1 documento, ver Figura 2.4, para “artículos de investigación” de la *International Journal of Hydrogen Energy*.

**A2) HE/WE.** Iniciando en 1 y finalizando con 1 artículo, con dos rachas de publicaciones similares a HE/HP y HE/HS, pero menor en cantidad, ver Figura 2.4, en total 16 (Anexo F). El top de revistas (Anexo A-XIII): *International Journal of Hydrogen Energy* con 12, y los otros cuatro escalones, 1 aporte cada uno. El tipo de artículo (Anexo A-XIII) sobresale “artículos de investigación” con 9 documentos.

## 2.2 Estudio B

El Estudio B consta de ocho etapas (B3-B11) donde uno a uno los TPr se compara contra los TSe (FC, RE, HES, HT, Sg y EV), ver Tabla 2.3, es importante declarar que solo se incluyen y analizan los Estudios que arrojaron resultados, es decir, las búsquedas donde no se encontró al menos una publicación quedaron descartadas. Los detalles estadísticos se agrupan en el Anexo B.

Es más común un artículo donde aparece el concepto vehículo eléctrico, en comparación de automóvil eléctrico, sin embargo, con la intención de sumar el mayor número de documentos se utiliza el conector booleano “OR” en EV para indicar que basta con la presencia de al menos uno de los dos conceptos (“*Electric Vehicle*” OR “*Electric Car*”) en la herramienta de: título, resumen o palabras clave (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Organización de búsqueda avanzada (*ScienceDirect*) del Estudio B.

Clasificación	Herramientas			Tema
B3	Year	Title, abstract or author- specified keywords	Title	TSe uno a uno
B4				Hy
B5				TSe uno a uno
B6				HE
B7				TSe uno a uno
B8				HP
B9				TSe uno a uno
B10				HS
				AE
				TSe uno a uno
	PEM-E			
	TSe uno a uno			
	SOE			
	TSe uno a uno			
	WE			

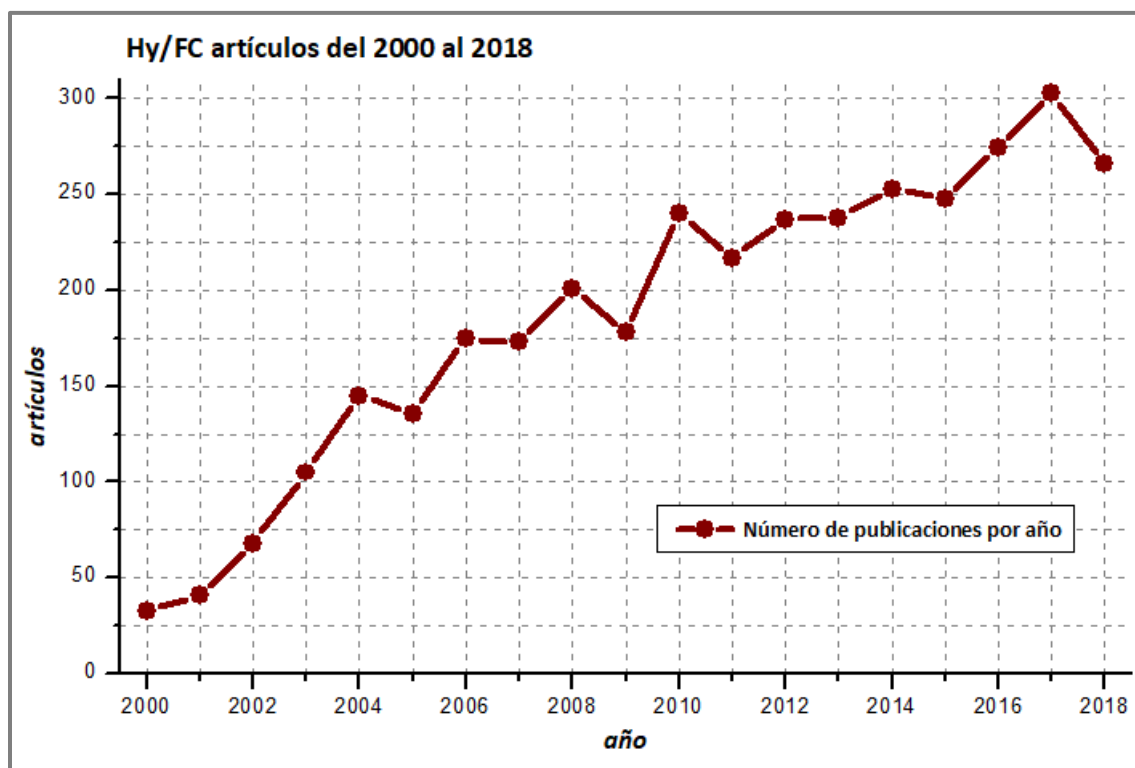


Figura 2.5. Número de artículos por año de Hy/FC, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de *ScienceDirect*.

**B3) Hy/FC.** De constante crecimiento, iniciando en 33 y finalizando con 266 artículos, record máximo de 303 publicaciones en 2017 y desde 2010 muestra una tendencia por arriba de 200, ver Figura 2.5, en total 3531 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XIV): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Fuel Cells Bulletin* (2ro) y *Journal of Power Sources* (3ro), con 1136, 649 y 381, respectivamente, y los otros siete, memos de 65



ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XIV) sobresalen “artículos de investigación y noticias”, con 2319 y 616 documentos, respectivamente, representando el primero el 65.68 %.

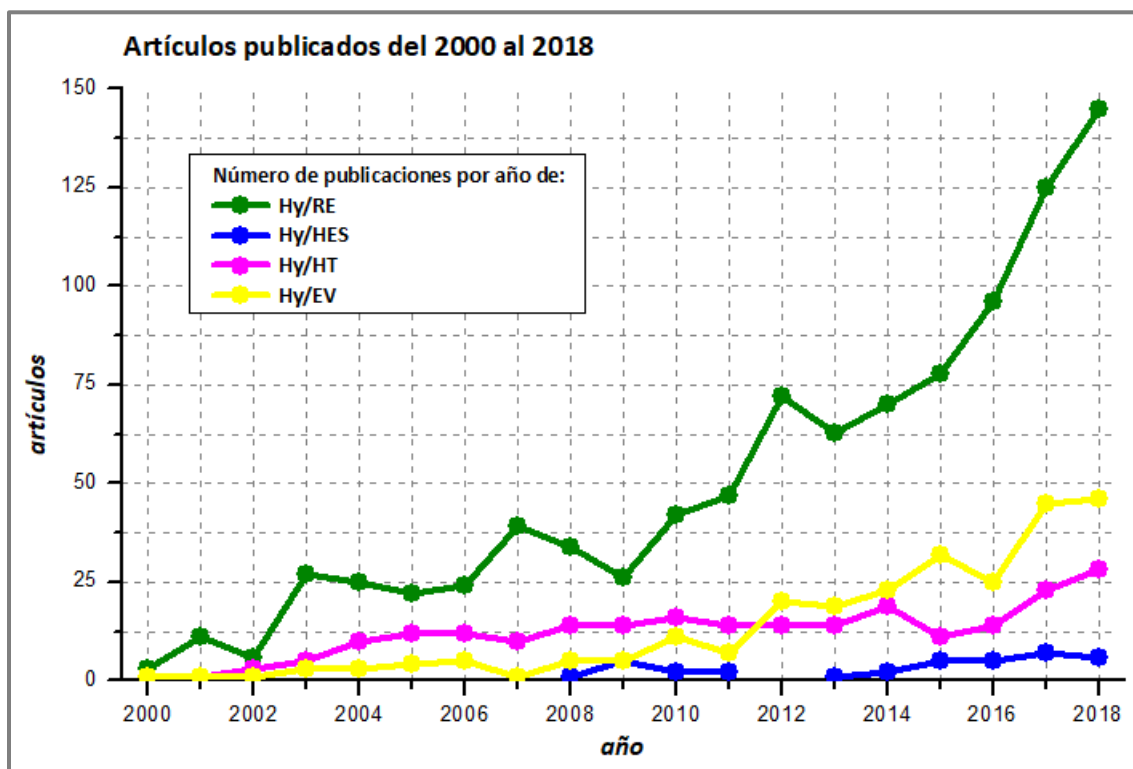


Figura 2.6. Número de artículos por año de Hy/RE, Hy/HES, Hy/HT y Hy/EV, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de ScienceDirect.

**B3) Hy/RE.** Con accidentado crecimiento, del 2013 en adelante es ascendente, comenzando en 3 y concluyendo con 145 artículos, ver Figura 2.6, en total 955 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XV): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Fuel Cells Bulletin* (2do), con 367 y 91, respectivamente, y los ocho restantes, memos de 37 ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XV) mayoritario es “artículos de investigación” con 696 equivale al 72.88 % de las publicaciones.

**B3) Hy/HES.** De lento incremento y con publicaciones a partir del 2008, record máximo de 5 artículos en 2017, ver Figura 2.6, en total 38 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XVI): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2do), 14 y 5, respectivamente, y los últimos ocho lugares, memos de 4 aportes cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XVI) donde “artículos de investigación” suman 24 documentos, representando el 66.67 %.

**B3) Hy/HT.** Tendencia de crecimiento regular, iniciando en 1 y finalizando con 28 artículos, ver Figura 2.6, en total 234 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XVII): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Fuel Cells Bulletin* (2do), con 96 y 41, respectivamente, y las ocho restantes casillas, memos de 11 ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XVII) sobresale “artículos de investigación” con 150 equivale al 64.10 % de los aportes.

**B3) Hy/EV.** De constante aportación, comenzando en 1 y concluyendo con 46 artículos, ver Figura 2.6, en total 257 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XVIII): *Fuel Cells Bulletin* (1ro) e *International Journal of Hydrogen Energy* (2do), con 96 y 78, respectivamente, y desde el tercer lugar, menos de 15 aportes cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XVIII) es mayoritario “artículos de investigación” con 132 equivale al 51.36 %, y “noticias” con 89 documentos.

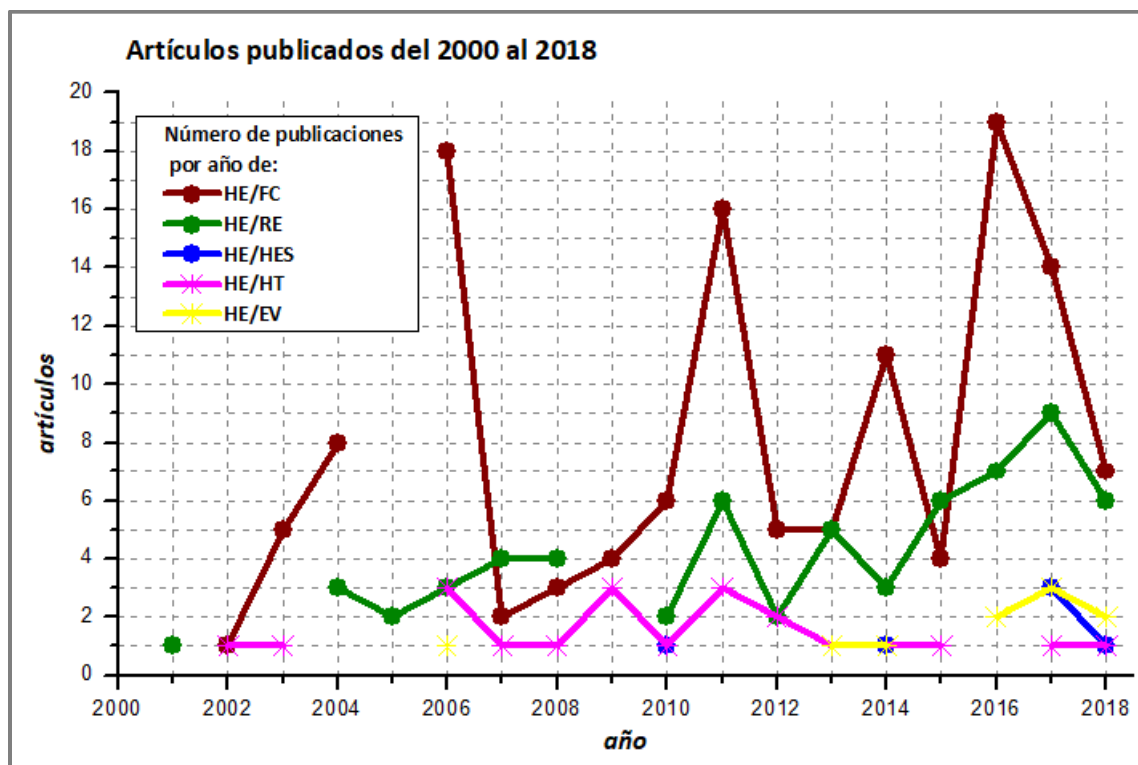


Figura 2.7. Número de artículos por año de HE/FC, HE/RE, HE/HES, HE/HT y HE/EV, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de ScienceDirect.

**B4) HE/FC.** Con inconstante incremento, iniciando en 1 y finalizando con 7 artículos, record máximo de 18 y 19 publicaciones en 2006 y 2016, respectivamente, ver Figura 2.7, en total 128 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XIX): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) *Fuel and Energy Abstracts* (2do) y *Fuel Cells Bulletin* (3ro), con 61, 22 y 18, respectivamente, y de la cuarta casilla, menos de 4 ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XIX) donde “artículos de investigación, resumen de conferencia, errata y noticias”, con 38, 23, 22 y 18 aportes, respectivamente, representando el primero el 29.69 %.

**B4) HE/RE.** Errático en la secuencia de sus aportes, comenzando en 1 y concluyendo con 6 artículos, record máximo de 9 publicaciones en 2017, ver Figura 2.7, en total 63 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XX): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Fuel Cells Bulletin* (2ro) y *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (3ro) con 61, 22 y 18, respectivamente, y desde el cuarto puesto, menos de 4 aportes cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XX) dominante es “artículos de investigación” con 37 documentos equivalente al 58.73 %.

**B4) HE/HES.** Con escasas publicaciones, siendo el 2017 el más fructífero con 3 artículos, ver Figura 2.7 de un total de 6 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXI): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Energy and Buildings* (2do) y *Renewable Energy* (3ro), 4, 1 y 1, respectivamente. El tipo de artículo (Anexo B-XXI) sobresalen “artículos de investigación, discusión y errata”, con 3, 2 y 1 aportes, respectivamente.

**B4) HE/HT.** De continua y reducida divulgación, iniciando en 1 y finalizando con 1 artículo, record máximo de 3 publicaciones en 2006, 2009 y 2011, ver Figura 2.7, en total 21 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXII): *International Journal of Hydrogen Energy* con 9, del segundo a la cuarta posición con 2, y a partir del cuarto lugar 1 documento. El tipo de artículo (Anexo B-XXII) donde “artículos de revisión, artículos de investigación, capítulos de libro, noticias y comunicado breve”, con 2, 14, 2, 2 y 1 documentos, respectivamente.

**B4) HE/EV.** Con irregular y escasas publicaciones, del 2013 al 2018 se encuentra la mayoría de sus artículos, y solo 1 aporte de la pasada década, ver Figura 2.7, en total 10 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXIII): *Fuel Cells Bulletin* (1ro), *International Journal of Hydrogen Energy* (2ro), *Energy Conversion and Management* (3ro) y *Fuel and Energy Abstracts* (4to), con 4, 3, 2 y 1, respectivamente. El tipo de artículo (Anexo B-XXIII) donde “artículos de revisión, resumen de conferencia, errata y noticias”, con 3, 1, 2 y 4 aportes, respectivamente.

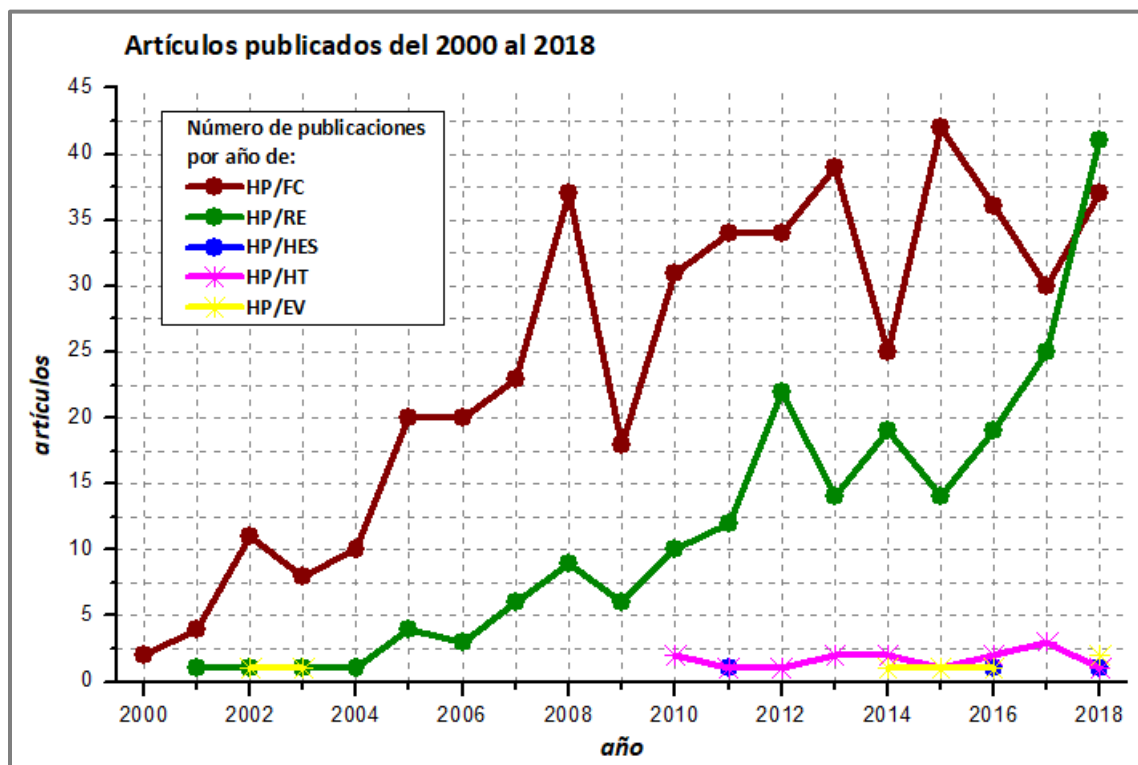


Figura 2.8. Número de artículos por año de HP/FC, HP/RE, HP/HES, HP/HT y HP/EV, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de ScienceDirect.

**B5) HP/FC.** Tendencia de crecimiento inconstante, comenzando en 2 y concluyendo con 37 artículos, ver Figura 2.8, en total 461 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXIV):

*International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Journal of Power Sources* (2do), con 183 y 53, respectivamente, y las ocho restantes casillas, memos de 17 ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XXIV) mayoritario es “artículos de investigación” con 375 equivale al 81.34 % de los aportes.

**B5) HP/RE.** De accidentada y constante publicación, iniciando en 1 y finalizando con 41 artículos, ver Figura 2.8, en total 208 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXV): *International Journal of Hydrogen Energy* con 102, y las siguientes nueve posiciones tienen entre 10 y 4 aportes. El tipo de artículo (Anexo B-XXV) donde “artículos de revisión” con 31 y “artículos de investigación” con 157 representa el 75.48 % de los ejemplares.

**B5) HP/HES.** Solo cuenta con 3 artículos (Anexo F), repartidos en 2011, 2016 y 2018, ver Figura 2.8. El top de revistas (Anexo B-XXVI): *Computers & Chemical Engineering*, *International Journal of Hydrogen Energy*, y *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. El tipo de artículo (Anexo B-XXVI) se reparte “artículos de investigación y otro”, con 2 y 1 publicación, respectivamente. Llama la atención que todos sus aportes corresponden a la presente década.

**B5) HP/HT.** De reciente tendencia científica, del 2010 al 2018 agrupan todos sus artículos, ver Figura 2.8, en total 15 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXVII): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2do), con 9 y 2, respectivamente, y los cuatro puestos faltantes solo 1 documento. El tipo de artículo (Anexo B-XXVII) donde “artículos de revisión, artículos de investigación y noticias”, con 2, 12 y 1 aportes, respectivamente.

**B5) HP/EV.** Registra 7 publicaciones (Anexo F), a razón de 1 documento al año y el 2018 con 2, ver Figura 2.8, la mayoría del 2014 al 2018. El top de revistas (Anexo B-XXVIII): *Journal of Power Sources* con 2 y las demás casillas con 1 solo ejemplar. El tipo de artículo (Anexo B-XXVIII) se reparte “artículos de revisión, artículos de investigación, capítulos de libro, resumen de conferencia y noticias”, con 1, 3, 1, 1 y 1 aportes, respectivamente.

**B6) HS/FC.** Tendencia de crecimiento irregular, comenzando en 2 y concluyendo con 16 artículos, ver Figura 2.9, record máximo de 24 y 25 publicaciones en 2012 y 2013, respectivamente, en total 275 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXIX): *International Journal of Hydrogen Energy* con 94, del segundo al cuarto lugar entre 32 y 28, y en los seis puestos finales, menos de 9 aportes. . El tipo de artículo (Anexo B-XXIX) mayoritario es “artículos de investigación” con 197 ejemplares y el 71.64 % del total.

**B6) HS/RE.** De accidentada y constante publicación, iniciando en 2 y finalizando con 9 artículos, ver Figura 2.9, en total 76 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXX): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Fuel Cells Bulletin* (2do) y *Energy* (3ro), con 24, 11 y 6, respectivamente, y las otras casillas, entre 3 y 2 ejemplares. El tipo de artículo (Anexo B-XXX) dominante es “artículos de investigación” con 58 ejemplares equivalente al 76.32 %.

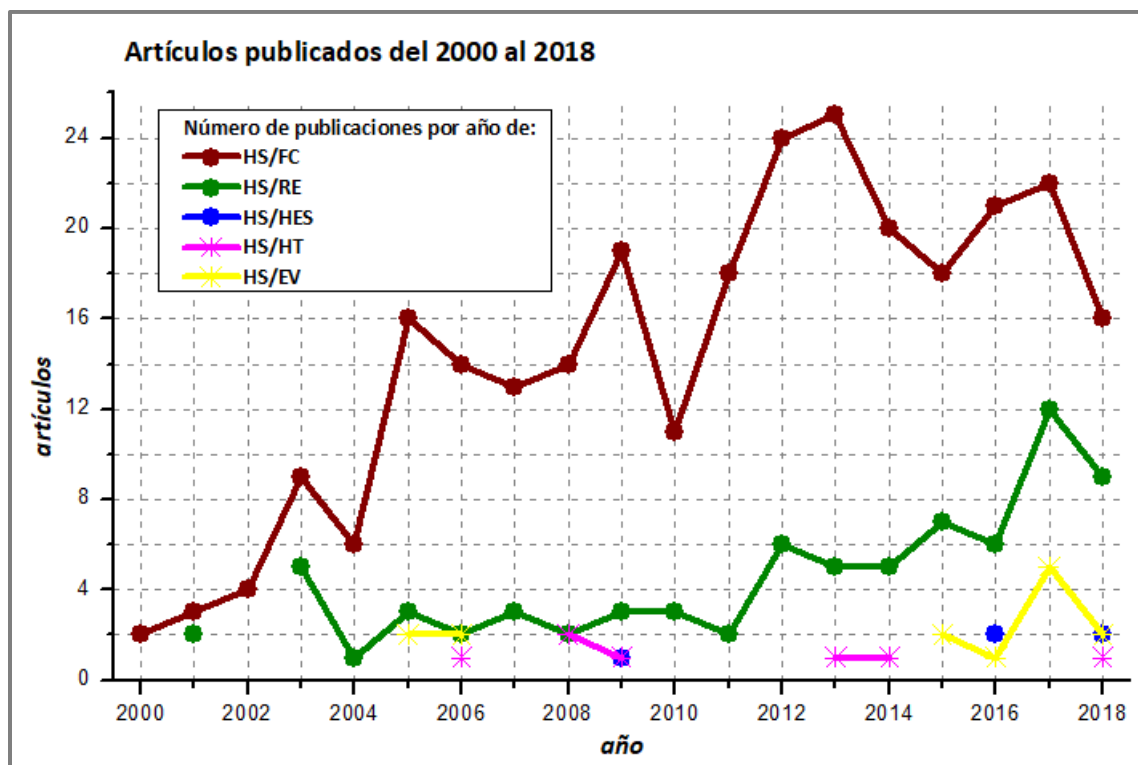


Figura 2.9. Número de artículos por año de HS/FC, HS/RE, HS/HES, HS/HT y HS/EV, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de ScienceDirect.

**B6) HS/HES.** Solo cuenta con 5 artículos (Anexo F), repartidos en 2009, 2016 y 2018, ver Figura 2.9. El top de revistas (Anexo B-XXXI): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Energy* (2ro) y *Renewable Energy* (3ro), con 3, 1 y 1, respectivamente. El tipo de artículo (Anexo B-XXXI) se reparte “artículos de investigación, errata y comunicado breve”, con 3, 1 y 1 aportes, respectivamente.

**B6) HS/HT.** Registra 7 publicaciones (Anexo F), a razón de 1 ejemplar al año y el 2008 con 2, ver Figura 2.9. El top de revistas (Anexo B-XXXII): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Solid-State Hydrogen Storage, 2008* (2do), con 2 cada uno, y las tres casillas faltantes solo 1 documento. El tipo de artículo (Anexo B-XXXII) donde “artículos de investigación, capítulos de libro y comunicado breve”, con 3, 1 y 1 aportes, respectivamente.

**B6) HS/EV.** De irregular y reducida divulgación, comenzando en 2 y concluyendo con 2 artículos, ver Figura 2.9, record máximo de 5 publicaciones en 2017, en total 14 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXXIII): del primer al tercer lugar 2, y del cuarto en adelante solo 1 ejemplar. El tipo de artículo (Anexo B-XXXIII) donde “artículos de revisión, artículos de investigación, capítulos de libro, noticias y otro”, con 2, 9, 1, 1 y 1 aportes, respectivamente.

**B7) AE/RE.** Pocas y dispersas publicaciones, a razón de 1 ejemplar al año, y 4 de 5 (Anexo F) corresponden del 2012 al 2018, ver Figura 2.10. El top de revistas (Anexo B-XXXIV): se reparten de 1 documento las cinco revistas. El tipo de artículo (Anexo B-XXXIV) donde todos son “artículos de investigación”.

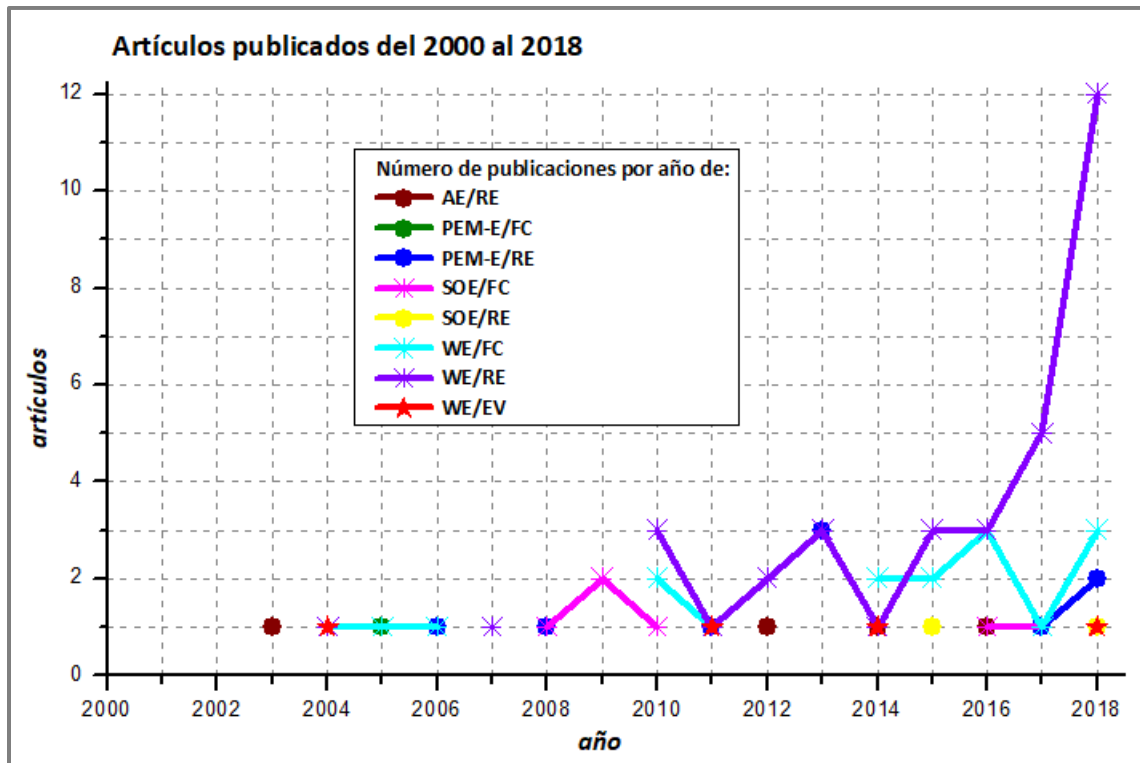


Figura 2.10. Número de artículos por año de AE/RE, PEM-E/FC, PEM-E/RE, SOE/FC, SOE/RE, WE/FC, WE/RE y WE/EV, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de ScienceDirect.

**B8) PEM-E/FC.** Contabiliza 2 artículos (Anexo F), en 2005 y 2015 ver Figura 2.10. El top de revistas (Anexo B-XXXV): *Solar Energy* y *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*, 2015. El tipo de artículo (Anexo B-XXXV) donde “artículos de investigación y capítulos de libro” tienen 1 publicación.

**B8) PEM-E/RE.** De accidentada y dispersa publicación, y 7 de 9 (Anexo F) corresponden del 2011 al 2018, ver Figura 2.10. El top de revistas (Anexo B-XXXVI): *International Journal of Hydrogen Energy* con 5, y los restantes cuatro lugares aportan 1 ejemplar. El tipo de artículo (Anexo B-XXXVI) donde todos son “artículos de investigación”.

**B9) SOE/FC.** Con irregular y escasas publicaciones, del 2010 al 2017 se encuentra la mayoría de sus artículos, en total 10 (Anexo F), y solo 3 aportes de la pasada década, ver Figura 2.10. El top de revistas (Anexo B-XXXVII): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Journal of Power Sources* (2do), con 5 y 2, respectivamente, y las últimas tres casillas 1 ejemplar cada uno. El tipo de artículo (B-XXXVII) donde todos son “artículos de investigación”.

**B9) SOE/RE.** De reciente tendencia científica, en 2015 y 2018 se registran sus publicaciones, ver Figura 2.10, en total 2 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXXVIII): *Energy* y *Energy Conversion and Management*, tienen 1 publicación. El tipo de artículo (Anexo B-XXXVIII) donde los 2 son “artículos de investigación”.

**B10) WE/FC.** De accidentada e inconstante publicación, iniciando en 1 y finalizando con 3 artículos, ver Figura 2.10, en total 19 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XXXIX): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Journal of Power Sources* (2do), con 6 y 3, respectivamente, y las siguientes ocho posiciones tienen solo 1 aporte. El tipo de artículo (Anexo B-XXXIX) mayoritario es “artículos de investigación” con 12 ejemplares correspondiente al 63.16 %.

**B10) WE/RE.** Errático en la secuencia de sus aportes, comenzando en 1 y concluyendo con 6 artículos, ver Figura 2.10, record máximo de 12 publicaciones en 2018, en total 35 (Anexo F). El top de revistas (Anexo B-XL): *International Journal of Hydrogen Energy* con 11, del segundo al sexto con 2, y las siguientes casillas 1 documento cada uno. El tipo de artículo (Anexo B-XL) dominante es “artículos de investigación” con 20 ejemplares equivalente al 57.14 %.

**B10) WE/EV.** Contabiliza 4 publicaciones (Anexo F), a razón de 1 ejemplar al año, y 3 de 4 corresponden del 2011 al 2018, ver Figura 2.10. El top de revistas (Anexo B-XLI): se reparten de 1 documento las cuatro revistas. El tipo de artículo (Anexo B-XLI) donde “artículos de investigación y capítulos de libro”, con 3 y 1 artículos, respectivamente.

### 2.3 Estudio C

Se utiliza el conector booleano “AND” para condicionar la presencia obligatoria de los dos conceptos en el título del artículo (Tabla 2.4), por ejemplo: “Sizing” AND “Hydrogen”. El TSe de Sg se elige para ser incluido en junto a los TPr en el campo “Title” pues si se escribe en “Title, abstract or author-specified keywords” en apariencia aumenta la probabilidad de encontrarla, sin embargo, se vuelve aleatorio visualizarla en al menos una de las tres secciones del artículo, por tanto, su relevancia disminuye, y además, por ser el concepto una sola palabra (dimensionamiento) lógicamente el resultado de su búsqueda se presta para ser ambiguo. Puede estar escrito dimensionamiento en el título, resumen o palabras clave, para referirse o completar una oración que nada tiene en común con alguno de los TPr. Por estas incertidumbres se decidió realizar la investigación del Estudio C como se explica a continuación, ver Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Organización de búsqueda avanzada (*ScienceDirect*) del Estudio C.

Clasificación	Herramientas		Tema
C11	Title	Year	“TPr uno a uno” AND “Sg”

Es importante comentar que solo se incluyen y analizan los Estudios que arrojaron resultados, es decir, las pesquisas donde no se encontró al menos una publicación quedaron descartadas. Los detalles estadísticos se agrupan en el Anexo C.

**C) Sg/Hy.** Con accidentado y regular incremento, comenzando en 5 y concluyendo con 26 artículos, record máximo de 31 y 32 publicaciones en 2016 y 2017, respectivamente, ver Figura 2.11, en total 314 (Anexo F). El top de revistas (Anexo C-XLII): *International*



*Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Journal of Alloys and Compounds* (2do), con 77 y 23, respectivamente, y los ocho restantes, reportan entre 19 y 5 documentos cada uno. El tipo de artículo (Anexo C- XLII) mayoritario es “artículos de investigación” con 272 equivale al 86.62 % de ejemplares.

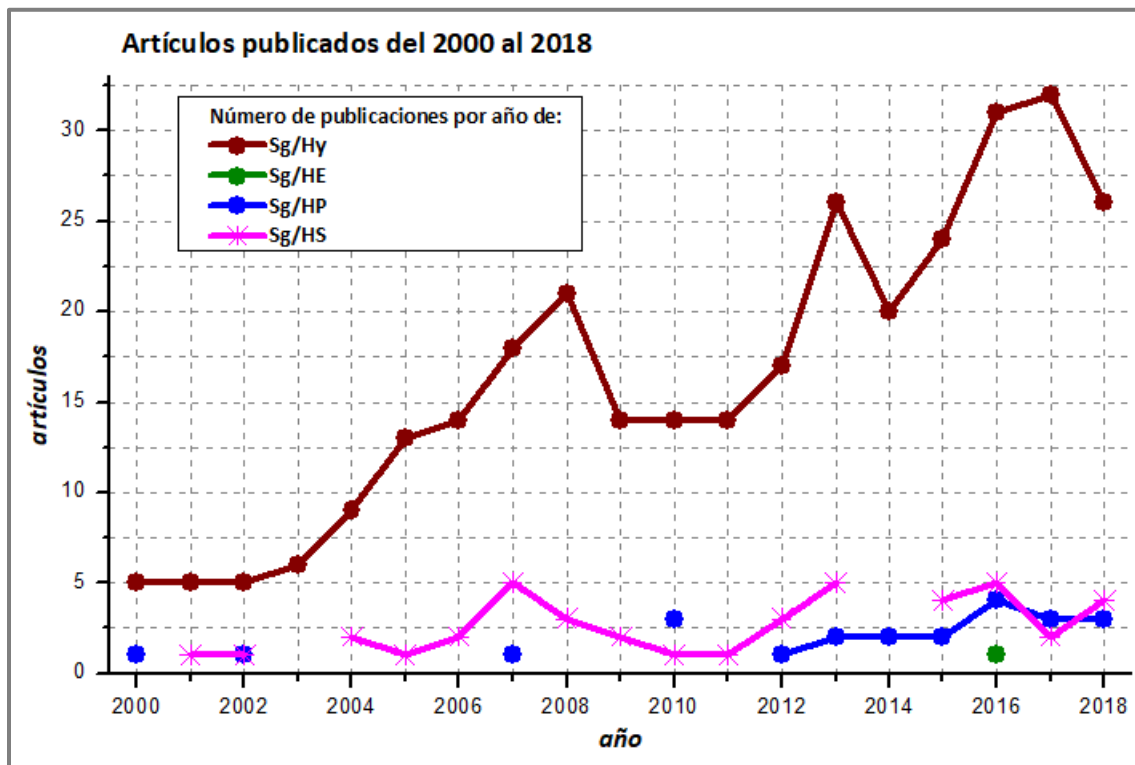


Figura 2.11. Número de artículos por año de Sg/Hy Sg/HE, Sg/HP, y Sg/HS, del 2000 al 2018. Fuente: elaboración propia con datos de *ScienceDirect*.

**C) Sg/HE.** Se tiene registro (Anexo F) en 2016 de 1 publicación, ver Figura 2.11, para “errata” de la *International Journal of Hydrogen Energy*.

**C) Sg/HP.** Errático en la secuencia de sus aportes, comenzando en 1 y concluyendo con 3, en total 23 (Anexo F), ver Figura 2.11, record máximo de 4 publicaciones en 2016. El top de revistas (Anexo C-XLIV): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro), *Applied Catalysis B: Environmental* (2ro) y *Catalysis Today* (3ro) con 13, 3 y 2, respectivamente, y desde la cuarta casilla, menos de 4 aportes cada uno. El tipo de artículo (Anexo C-XLIV) donde “artículos de revisión y artículos de investigación” con 1 y 22 ejemplares, respectivamente.

**C) Sg/HS.** Con inconstante crecimiento, iniciando en 1 y finalizando con 4 artículos, record máximo de 5 publicaciones en 2007, 2013 y 2016, respectivamente, ver Figura 2.11, en total 42 (Anexo F). El top de revistas (Anexo C-XLV): *International Journal of Hydrogen Energy* (1ro) y *Journal of Alloys and Compounds* (2do), con 19 y 10, respectivamente, de la tercera posición en adelante menos de 4 ejemplares cada uno. El tipo de artículo (Anexo C-XLV) se reparte “artículos de investigación, resumen de conferencia y comunicado breve”, con 40, 1 y 1 aportes, respectivamente.

## 2.4 Análisis parcial

Por medio de *ScienceDirect* se realizó el análisis de un total de cuarenta y cinco Estudios A, B y C, con 13, 28 y 4 casos, respectivamente. Con un resultado de 71,809 artículos encontrados sumando todas las pesquisas (del 2000 al 2018), de los cuales 45,700 corresponden al periodo del 2010 al 2018 (Anexo F), dato de relevancia al considerar que se excluye el año en curso (2019) de la investigación, dando a entender que en 9 años se encuentra el 63.64 % del volumen total de documentos, por tanto, se intuye que las investigaciones del hidrógeno en años recientes están a la alza. En forma más detallada, ver Anexo F, se publicaron del 2010 al 2018 los siguientes porcentajes de los Estudios: en 7 casos el 60 % o menos, otros 8 entre el 61 y 70 %, en 12 entre el 71 y 80 %, después 10 entre el 81 y 90 %, y por último, 8 con entre 91 y 100 %.

De los temas HE/AE, HE/PEM-E y Sg/HE se tiene 1 artículo y de SOE/RE solo 2, por lo que la investigación de los mismos es prácticamente nula, después los temas de 3 hasta 10 aportes son HP/HES, WE/EV, HS/HES, AE/RE, HE/HES, HP/EV, PEM-E/RE, HE/EV y SOE/FC, con 3, 4, 5, 5, 6, 7, 9, 10 y 10 ejemplares, respectivamente. Por el contrario, las búsquedas con más documentos, incluida la primera mitad del Estudio A1, son Hy, HE, HP, HS, Hy/FC e Hy/RE, contabilizan 54,665, 624, 5,584, 3,550, 3,531 y 955 aportes, respectivamente (Anexo F).

Una interesante observación en el Estudio A1 es HE, donde el marcador es “resumen de conferencia, errata y artículos de investigación” con 186, 134 y 128, respectivamente. Es el único Estudio con 3 punteros, y con “errata” en segundo puesto, de lo cual se puede entender que en las investigaciones de energía del hidrógeno son comunes los errores técnicos o metodológicos en las fases experimentales, dichos resultados publicados son posteriormente corregidos. Y junto a las conferencias (“resumen de conferencia”) como el mayor aportador en tipo de artículo, son de vital importancia para la divulgación científica y tecnológica de las HE. Sin embargo, el Hy lleva una tendencia de crecimiento anual casi lineal (Figura 2.1), con un total de 54,665 ejemplares que representan el 76.13 % del total de artículos capturados (Anexo F), y sus aportes del 2010 al 2018 representan el 61.5 % reflejando que las investigaciones del Hidrógeno tienen más incremento ahora que la pasada década.

El Estudio A2 revela que al especializar la búsqueda de energía del hidrógeno (HE) con la inclusión de los otros TPr, ver Figura 2.4, los aportes se vuelven escasos e irregulares: HE/HP y HE/HS, con 92 y 56 publicaciones, respectivamente; de evolución similar, HE/WE es más disperso e inferior en artículos, tiene 16 y; HE/AE y HE/PEM-E son rarezas de 1 solo documento. En total suman 166 ejemplares (Anexo F).

Un punto de vista interesante es comparar los resultados del Estudio B, prestando atención al número de artículos que los TSe (FC, RE, HES, HT y EV) tienen vinculados con los TPr. En seguida se da un análisis resumido:

**1.- FC.** Es el TSe de mayor número de publicaciones, en total 4,426, ver Anexo F, repartidos en Hy/FC, HE/FC, HP/FC, HS/FC, PEM-E/FC, SOE/FC y WE/FC, con 3,531, 128, 461, 275, 2, 10, y 19, respectivamente.

**2.- RE.** Es el segundo TSe con más aportes, en total 1,348, ver Anexo F, donde Hy/RE, HE/RE, HP/RE, HS/RE, PEM-E/RE, SOE/RE y WE/RE, tienen 995, 63, 208, 76, 9, 2, y 35, respectivamente.

**3.- HES.** Con el menor número de artículos, en total 50, ver Anexo F, repartidos en Hy/HES, HE/HES, HP/HES y HS/HES, con 36, 6, 3 y 5, respectivamente.

**4.- HT.** Es el cuarto TSe en volumen de ejemplares, en total 277, ver Anexo F, donde Hy/HT, HE/HT, HP/HT y HS/HT, tienen 234, 21, 15 y 7, respectivamente.

**5.- EV.** Está en tercera posición de TSe, en total 292 publicaciones, ver Anexo F, repartidos en Hy/EV, HE/EV, HP/EV, HS/EV y WE/EV, con 257, 10, 7, 14 y 4, respectivamente.

El Estudio C en general aporta poco, en total 380 artículos, ver Anexo F, donde: 314 de Sg/Hy son la sorpresa y aun variando todos los años toma relevancia; 23 y 42 para Sg/HP y Sg/HS, son líneas de reducida documentación científica; y Sg/HS es un caso exótico de 1 artículo (Figura 2.11).

Importante recordar que en *ScienceDirect* solo se visualiza el top diez de revistas de la búsqueda, en el caso del Hy la suma de los aportes de las revistas representa el 39.90 % del total de 54,665 artículos, ver Anexo A-I.

En las revistas con el mayor número de publicaciones, la *International Journal of Hydrogen Energy* (17,633) igual al 24.56 %, ver Anexo F, también es el primer lugar en la mayoría de los top de revista en los Estudios (Anexos A, B y C), le siguen el *Journal of Alloys and Compounds* (2,655), *Fuel Cells Bulletin* (2,323), *Journal of Power Sources* (1,731), *Applied Catalysis A: General* (1,261), *Catalysis Today* (1,150), *Electrochimica Acta* (983), *Journal of Catalysis* (908), *Chemical Physics Letters* (877), y *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* (860). En los párrafos siguientes se da una breve semblanza de las revistas y su probable conexión con la energía del hidrógeno:

**1.- *International Journal of Hydrogen Energy*** (ISSN: 0360-3199), se especializa en “nuevas ideas, desarrollos tecnológicos y resultados de investigación en el campo de la energía del hidrógeno” [5]. Es la revista con más artículos publicados de temas afines al hidrógeno, como la energía, almacenamiento y producción de hidrógeno, electrolizadores (AE, PEM-E y SOE), electrolisis del agua, celdas de combustible, energía renovable, tecnología del hidrógeno, entre otros.

**2.- *Journal of Alloys and Compounds*** (ISSN: 0925-8388) es una “revista científica que cubre enfoques experimentales y teóricos para problemas de materiales que involucran compuestos y aleaciones” [6], en apariencia no esta relacionada directamente con temas del hidrógeno, sin embargo, los trabajos aquí

publicados deben incluir la síntesis y estructura de las propiedades químicas y físicas de aleaciones y compuestos, quizá temas como la energía, almacenamiento y producción de hidrógeno, electrolizadores (AE, PEM-E y SOE), electrolisis del agua, celdas de combustible, etc.

**3.- *Fuel Cells Bulletin*** (ISSN: 1464-2859) se define como “la principal fuente de noticias técnicas y comerciales para el sector de las celdas de combustible” [7], indiscutible su relación con ciencias y tecnologías del hidrógeno.

**4.- *Journal of Power Sources*** (ISSN: 0378-7753) es ideal para los “interesados en todos los aspectos de la ciencia, la tecnología y las aplicaciones de las fuentes de energía electroquímica” [8], entonces sus aportes están relacionados con producción del hidrógeno, celdas de combustible, electrolizadores (AE, PEM-E y SOE), electrolisis del agua, energía renovable, sistemas de energía híbridos, etc.

**5.- *Applied Catalysis A: General*** (ISSN: 0926-860X) se orienta a “todos los aspectos de la catálisis de interés básico y práctico para los científicos químicos en los campos industriales y académicos” [9], la publicación debe incluir detalles de la descripción de métodos y resultados de caracterización de catalizadores, reactivos y productos, probablemente le interesen los producción de hidrógeno, electrolizadores (AE, PEM-E y SOE) y electrolisis del agua.

**6.- *Catalysis Today*** (ISSN: 0920-5861) solo publica “trabajos originales invitados dedicados a temas actualmente importantes en catálisis y temas relacionados” [10], aunque poco relacionada con temas de hidrógeno, los ejemplares indagan los aspectos fundamentales y aplicados de la catálisis, los temas electos mayormente son la producción de hidrógeno, electrolizadores (AE, PEM-E y SOE), electrolisis del agua, etc.

**7.- *Electrochimica Acta*** (ISSN: 0013-4686) se dedica a “la publicación de trabajos originales y revisiones en el campo de la electroquímica” [11], y es el diario oficial de la Sociedad Internacional de Electroquímica. Dado que la electroquímica tiene un amplio espectro de investigación es posible que divulgue artículos de celdas de combustible, electrolizadores (AE, PEM-E y SOE), electrolisis del agua, vehículo eléctrico, energía renovable, entre otros.

**8.- *Journal of Catalysis*** (ISSN: 0021-9517) se especializa en los “campos de la catálisis heterogénea y la catálisis homogénea” [12], revista de alto impacto y elitista, probablemente publica los mismos temas escritos en *Catalysis Today*.

**9.- *Chemical Physics Letters*** (ISSN: 0009-2614) se enfoca en “breves informes sobre moléculas, interfaces, fases condensadas, nanomateriales y nanoestructuras, polímeros, sistemas biomoleculares y conversión y almacenamiento de energía” [13], como entre sus publicaciones incluyen trabajos de termodinámica a nanoescala, conversión y almacenamiento de energía es intuye que acepta documentos de energía, almacenamiento y producción de

hidrógeno, celdas de combustible, electrolizadores (AE, PEM-E y SOE), electrolisis del agua, energía renovable, etc.

**10.- *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*** (ISSN: 1381-1169) su prioridad es “examinar los aspectos moleculares y atómicos de la activación catalítica y los mecanismos de reacción en catálisis homogénea, catálisis heterogénea y catálisis computacional” [14], otra revista de orientación a la catálisis, entonces, probablemente aporta en la producción de hidrógeno, electrolizadores (AE, PEM-E y SOE), electrolisis del agua, etc.

Sintetizando: las primeras 3 revistas se especializan en el hidrógeno y la mayoría de los temas afines investigados (Estudios A, B y C), en especial la *International Journal of Hydrogen Energy*; La *Journal of Power Sources* regularmente se aproxima a algunos; el quinto, sexto, octavo y décimo lugar, se enfocan en la catálisis y la química; la séptima casilla se inclina por la electroquímica; y la *Chemical Physics Letters* reporta especialmente la termodinámica y almacenamiento de energía.

En tipo de artículo se encontraron hasta 19 categorías, ver Anexo D, sin embargo, el mayoritario es “artículos de investigación” con 57,414 ejemplares, igual al 79.95 % del total de los documentos (Anexos A, B y C).

### **CAPITULO III. Análisis general**

Se realizó una revisión bibliográfica para identificar proyectos aplicados a la energía del hidrógeno y conocer los resultados de sus experiencias, así como sus limitantes y áreas de oportunidad. En este Capítulo se indaga en un selecto grupo de artículos con datos y puntos de vista muy aprovechables referentes a los temas de los Estudios A, B y C.

Comenzando con E.L.V. Eriksson y E. MacA. Gray [1], investigan los enfoques para integrar la tecnología de energía de hidrógeno en sistemas de energía híbridos, enfatizando la generación de electricidad usando una celda de combustible de hidrógeno. Se aborda la integración del almacenamiento de energía, las metodologías de dimensionamiento, la gestión del flujo de energía, sus cálculos y uso de software.

Elaboraron una encuesta de estudios de caso de sistemas de energía híbrida de hidrógeno solar/eólica para el suministro de electricidad, señalan la integración y la optimización, ver Anexo H, que se remonta a la década de 1980. Los sistemas de energía varían en tamaño desde 1 kW hasta más de 600 kW, con electrolizadores alcalinos y PEM con capacidades de potencia entre 1 y 320 kW, baterías de iones de litio y plomo-ácido que van desde 42 a 1310 kWh, almacenamiento de hidrógeno de 30 a 120 bar, y celda de combustible de ácido fosfórico y celdas de combustible PEM de capacidades de 0.5 a 80 kW [1]. Reportaron encontrar pocos casos de sistemas híbrida donde incluyera tecnología de energía del hidrógeno.

E.L.V. Eriksson y E. MacA. Gray observaron que la mayoría de los estudios de optimización, ver Anexo H, abordan objetivos tecnoeconómicos, ocasionalmente objetivos ambientales. Advierten que la decisión de incorporar tecnología de energía de hidrógeno debe ser racional, por tanto, requiere herramientas de evaluación y diseño que tengan la capacidad necesaria, en particular la capacidad de modelar componentes relacionados con el hidrógeno de manera compatible con los paquetes de modelado y simulación disponibles. Una encuesta de los paquetes de software mostró que existe la necesidad de nuevos desarrollos, específicamente en el modelado del almacenamiento de hidrógeno [1].

F.J. Vivas *et al.* [4], presentan una revisión de diferentes estrategias de gestión de energía para sistemas híbridos renovables basados en el respaldo de hidrógeno, con los criterios de optimización técnica y económica más importantes, así como sus problemas y soluciones más comunes. Parte de los resultados apuntan que el uso de sistemas de almacenamiento basados en hidrógeno garantiza una solución de alta densidad de energía para una respuesta constante contra el bajo estado de carga de las baterías, así como una solución para evacuar el exceso de energía en sistemas aislados. También, se presenta como un sistema limpio y de bajo mantenimiento en comparación con los sistemas diésel tradicionales. En su contra esta la complejidad, el costo de estos sistemas y su vida útil reducida. Además, el uso de sistemas de almacenamiento híbrido reducirá el

tamaño de ambas tecnologías, y proporcionará una solución más económica, más simple y más viable para el problema del almacenamiento de energía.

En la literatura F.J. Vivas *et al.* [4], identificaron diferentes soluciones para el funcionamiento de los elementos más vulnerables del sistema, como baterías y elementos basados en hidrógeno para la producción y el consumo como electrolizadores y celdas de combustible, respectivamente.

Concluyen que las estrategias más comunes solo intentan satisfacer la demanda, aun siendo simples, muestran un comportamiento ineficiente. En cambio, las estrategias que incluyen criterios técnicos y económicos se presentan como las más eficientes y seguras, mientras que requieren algoritmos más complejos que son difíciles de implementar en un sistema de control real. Por último, recomiendan continuar desarrollando algoritmos y estrategias de objetivos múltiples que permitan su aplicación en sistemas reales, permitiendo un uso más extendido en aplicaciones de energía distribuida [4].

El aporte de Ling Ai Wong *et al.* [15], se basa una revisión de la literatura sobre la asignación óptima y el control de sistema de almacenamiento de energía (ESS) como un elemento importante para mejorar el rendimiento del sistema de energía. Además, se discuten diferentes tecnologías y los beneficios de la ESS. Encontraron los principales desafíos para la asignación óptima de un ESS interconectado a la red eléctrica incluyen la predicción de la incertidumbre de la generación de energía renovable (fotovoltaica y eólica, por ejemplo), la eficiencia de cálculo del algoritmo de solución, así como la justificación del beneficio económico cuando los ESS están conectados a la red de distribución.

Se han escrito algunos casos de aplicación de ESS en varias partes del mundo, donde los ESS se han empleado para la reserva rodante (spinning reserve), la demanda pico (peak shaving), el suavizado de la pendiente de la rampa (smoothing the ramp rate) y otro soporte de la red [15]. Dato de relevancia considerando que estos fenómenos son los causantes de picos en la red, lo cual (aunque sea por unos cuantos minutos o segundos) generan sobre tensiones, es decir, se la demanda eléctrica se eleva por un breve momento. Lo anterior plantea en área de oportunidad para integrar y maximizar el uso de bancos de baterías y para el almacenamiento de hidrógeno.

Ling Ai Wong *et al.* [15] concluyen aceverando los principales desafíos para la asignación óptima de ESS en la red del sistema eléctrico incluyen la predicción de la incertidumbre de la generación de energía renovable, la eficiencia de cálculo del algoritmo de solución, así como la justificación del beneficio económico cuando los ESS están integrados a la red eléctrica.

Kamal Anoune *et al.* [16] proporcionan una revisión bibliográfica del método y las técnicas más aplicados utilizados en el dimensionamiento y la optimización del sistema híbrido basado en fotovoltaica-eólica (PWHS) para un instalación aislada con el objetivo de alcanzar el mejor compromiso entre la confiabilidad de la energía y los costos del sistema



híbrido. También se discute una comparación de las topologías más comunes utilizadas para la implementación de PWHs.

En su revisión de literatura Kamal Anoune *et al.*, encuentran la divulgación que los sistemas híbridos basados en energía renovable no tienen costos competitivos contra los sistemas convencionales de energía de combustibles fósiles. Sin embargo, la necesidad de energía más limpia y mejoras en las tecnologías de energía alternativa presenta un buen potencial para el uso frecuente de tales sistemas [16].

Por último, Kamal Anoune *et al.* [16] observan que dentro de las topologías de PWHs, las técnicas de optimización inspiradas en la naturaleza y las técnicas de optimización híbrida serán importantes para una mayor exploración en futuras investigaciones para enfrentar la complejidad y los desafíos de los sistemas híbridos fotovoltaico-eólico.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Se logró compilar y analizar estadísticamente un conjunto de datos de publicaciones en energías del hidrógeno del periodo 2000 al 2018 (Capítulo II). El 63.64 % del volumen total de documentos corresponden a la década del 2010, es decir, en los cuarenta y cinco Estudios se encuentran los siguientes porcentajes: en 7 casos el 60 % o menos, otros 8 entre el 61 y 70 %, en 12 entre el 71 y 80 %, después 10 entre el 81 y 90 %, y por último, 8 con entre 91 y 100 %. El tipo de artículo dominante es “artículo de investigación” con 57,414 ejemplares, igual al 79.95 % del total de las publicaciones.

Las revistas con mayor número de publicaciones, en primer lugar el *International Journal of Hydrogen Energy* con 17,633 equivale al 24.56 % del total, le siguen el *Journal of Alloys and Compounds* con 2,655, *Fuel Cells Bulletin* con 2,323, *Journal of Power Sources* con 1,731, *Applied Catalysis A: General* con 1,261, *Catalysis Today* con 1,150, *Electrochimica Acta* con 983, *Journal of Catalysis* con 908, *Chemical Physics Letters* con 877, y *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* con 860. Las primeras 3 revistas se especializan en el hidrógeno y la mayoría de los temas afines investigados; el *Journal of Power Sources* regularmente se aproxima a algunos; el quinto, sexto, octavo y décimo lugar, se enfocan en la catálisis y la química; la séptima casilla se inclina por la electroquímica; y la *Chemical Physics Letters* reporta especialmente la termodinámica y almacenamiento de energía.

El Hy (del Estudio A1) demuestra un incremento anual casi lineal, sus aportes del 2010 al 2018 representan el 61.5 % de las investigaciones del hidrógeno, por lo tanto, tienen más tendencia ahora que la pasada década. El Estudio A1, en específico la HE, donde el marcador es “resumen de conferencia, errata y artículos de investigación” con 186, 134 y 128, respectivamente. Es el único Estudio con 3 punteros, y donde se desplaza a “artículos de investigación” al tercer escalón, con “resumen de conferencia y “errata” como los mayores aportadores en tipo de artículo, demostrando ambos ser de vital importancia para la divulgación científica y tecnológica de las HE. El Estudio A2 revela que al especializar la búsqueda de energía del hidrógeno (HE) con la inclusión de los otros siete TPr los artículos se vuelven escasos e irregulares (en total 166), además solo se obtuvieron 5 pesquisas de 7 posibles.

Al analizar los resultados del Estudio B prestando atención al número de artículos que los cinco TSe, tienen vinculados con los ocho TPr. Se comprueba que las celdas de combustible (FC) es el TSe de mayor número de publicaciones, en total 4,426. Le siguen la RE, EV, HT y HES, con 1,348, 292, 277 y 50 ejemplares, respectivamente. Sin embargo el número de Estudios decae, de los 40 posibles resultados solo 28 combinaciones arrojaron al menos un artículo. La principal contribución al desplome es el TSe de dimensionamiento (*Sizing*), dio cero documentos en las búsquedas que le corresponden, es decir, en el universo de publicaciones de *ScienceDirect* no existen

artículos con la descripción: “título, resumen o palabras clave: *Sizing*” con los TPr escritos en la herramienta “título”.

El Estudio C en general aporta poco, en total 380 artículos. Probablemente la falta sustancial de resultados se debe a la misma forma en como está organizada la pesquisa (instrucciones en Capítulo I), al utilizar el conector booleano “AND” en la herramienta “título: *Sizing*” AND “*Hydrogen*” el motor de búsqueda dio pocas publicaciones, por lo tanto, se entiende que existen pocos documentos que hablen del hidrógeno.

En tipo de artículo se encontraron hasta 19 categorías, ver Anexo D, pero “artículos de investigación” con 57,414 ejemplares, igual al 79.95 % del total de las publicaciones, por lo tanto, en la mayoría de los Estudios (A, B y C) también aparece en primer puesto, ver Anexos A, B y C.

En cuanto a los artículos revisados (Capítulo III), aportan datos y perspectivas del máximo avance actual de las aplicaciones y prototipos en energías del hidrógeno y temas afines. Donde E.L.V. Eriksson y E. MacA. Gray [1] tienen la investigación más relevante en cuanto a cifras, su encuesta orientada a estudios de caso de sistemas de energía híbrida de hidrógeno solar/eólica para el suministro de electricidad remonta a la década de 1980. Discuten como las tecnologías de energía del hidrógeno han demostrado compatibilidad al integrarlas a sistemas híbridos solar/eólica, sin embargo, su contribución energética sigue siendo inferior en comparación con la generación por hidrocarburos.

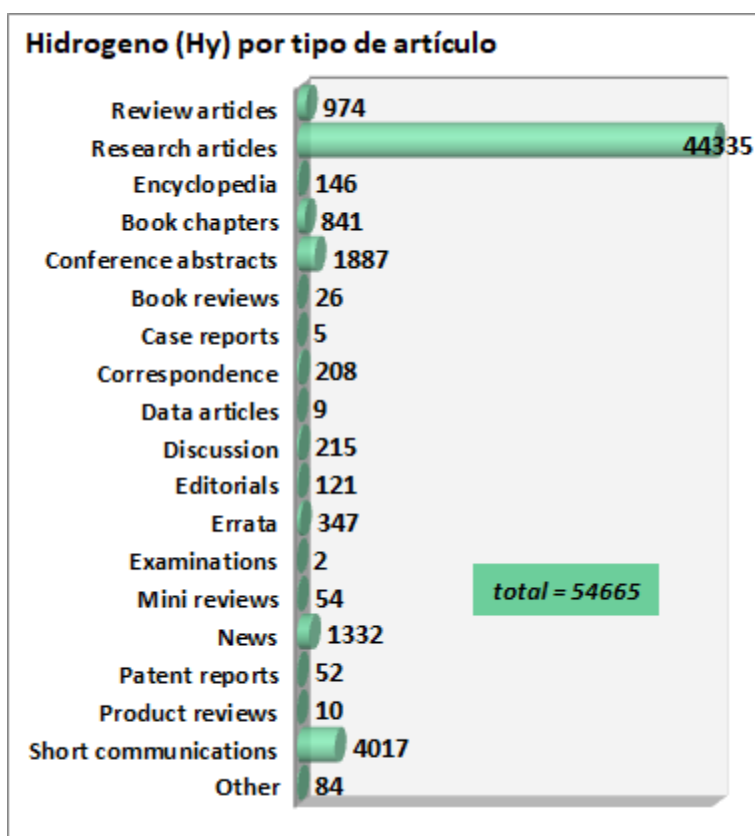
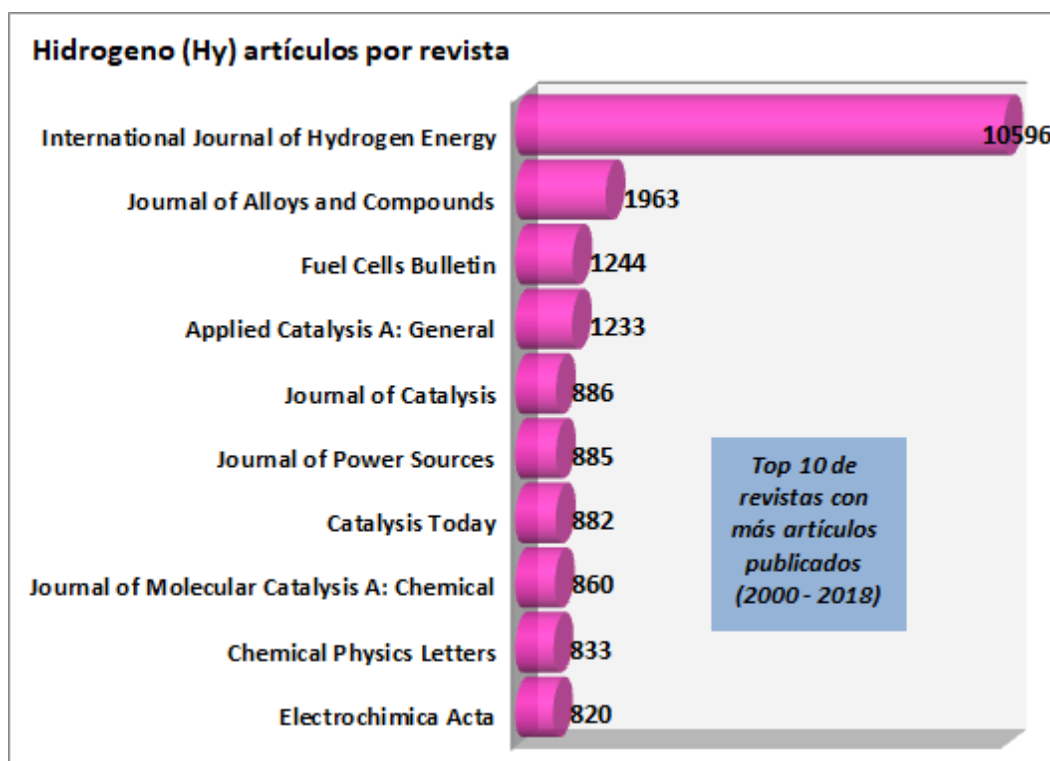
F.J. Vivas *et al.* [4] en su revisión a diferentes estrategias de gestión de energía para sistemas híbridos renovables basados en el respaldo de hidrógeno, concluyen que las estrategias que incluyen criterios técnicos y económicos se presentan como las más eficientes y seguras, y recomiendan continuar desarrollando algoritmos y estrategias de objetivos múltiples que permitan su aplicación en sistemas reales, permitiendo un uso más extendido en aplicaciones de energía distribuida [4].

Ling Ai Wong *et al.* [15] estudian la literatura sobre la asignación óptima y el control de sistema de almacenamiento de energía (ESS), concluyen que los principales desafíos para la asignación óptima de un ESS interconectado a la red eléctrica son la predicción de la incertidumbre de la generación de energía renovable (fotovoltaica, eólica), la eficiencia del algoritmo de solución y la justificación del beneficio económico. Sin embargo, algunos casos de aplicación de ESS se han empleado para la reserva rodante (spinning reserve), la demanda pico (peak shaving), el suavizado de la pendiente de la rampa (smoothing the ramp rate) y otro soporte de la red [15], observaciones de suma relevancia considerando que estos fenómenos son los causantes de picos en la red, lo cual (aunque sea por unos cuantos minutos o segundos) generan sobre tensiones, es decir, se la demanda eléctrica se eleva por un breve momento. Lo anterior plantea en área de oportunidad para integrar y maximizar el uso de bancos de baterías y para el almacenamiento de hidrógeno.

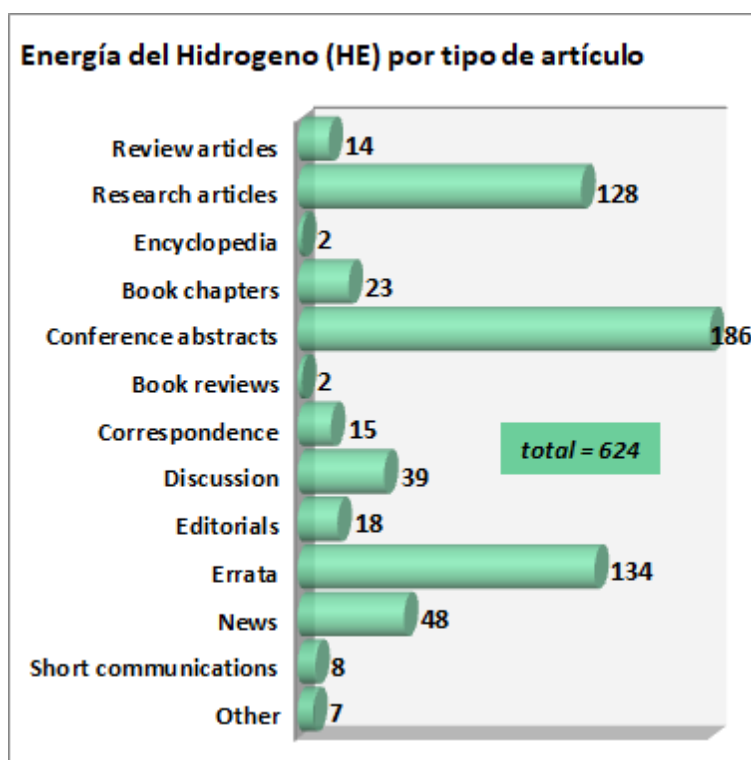
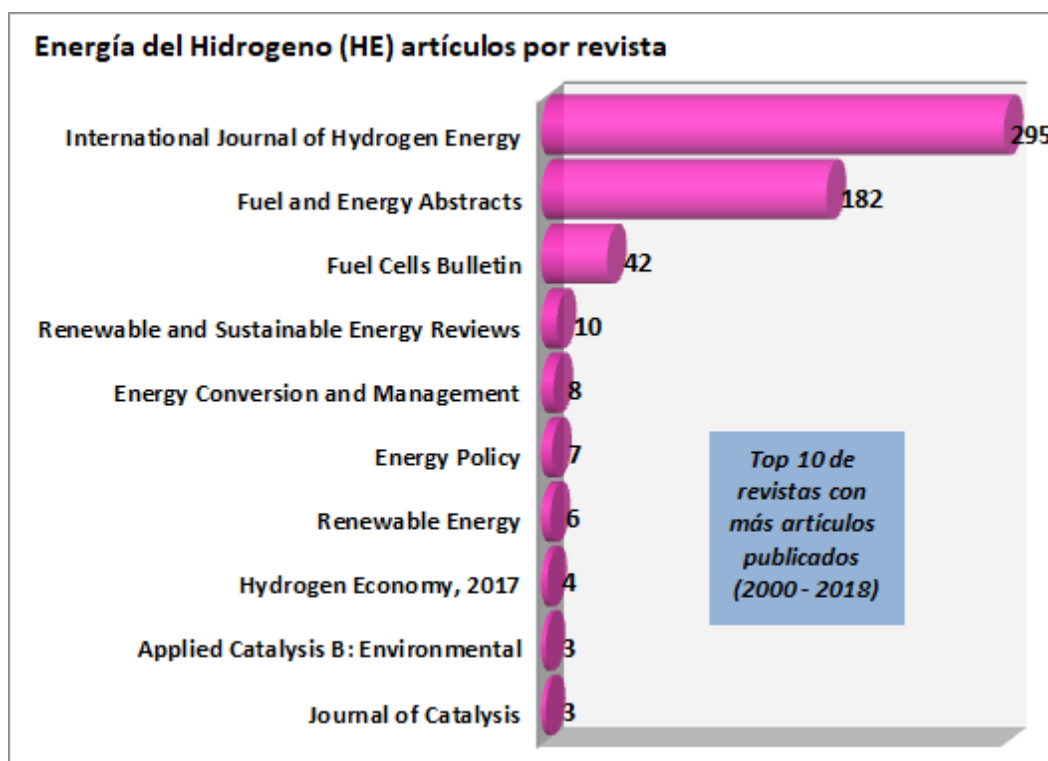
Kamal Anoune *et al.* [16] proporcionan una revisión bibliográfica del método y las técnicas más aplicados utilizados en el dimensionamiento y la optimización del sistema híbrido basado en fotovoltaica-eólica (PWHS) para un instalación aislada. La literatura divulga

que los sistemas híbridos basados en energía renovable no tienen costos competitivos contra los sistemas convencionales de energía de combustibles fósiles, sin embargo, la necesidad de energía más limpia y mejoras en las tecnologías de energía alternativa presenta un buen potencial [16]. Concluyen que que dentro de las topologías de PWS, las técnicas de optimización inspiradas en la naturaleza y las técnicas de optimización híbrida serán importantes para una mayor exploración en futuras investigaciones para enfrentar la complejidad y los desafíos de los sistemas híbridos fotovoltaico-eólico.

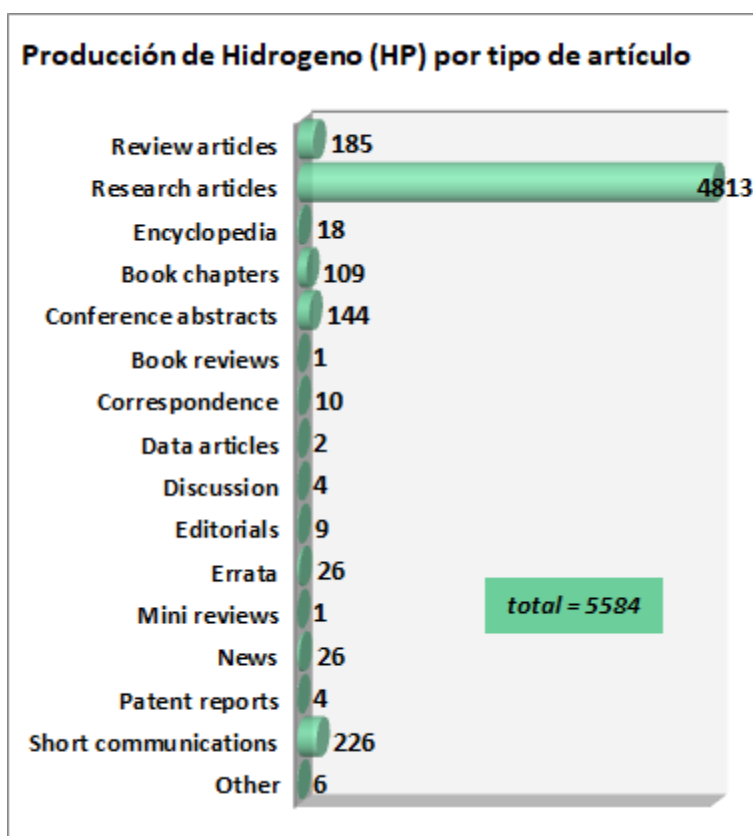
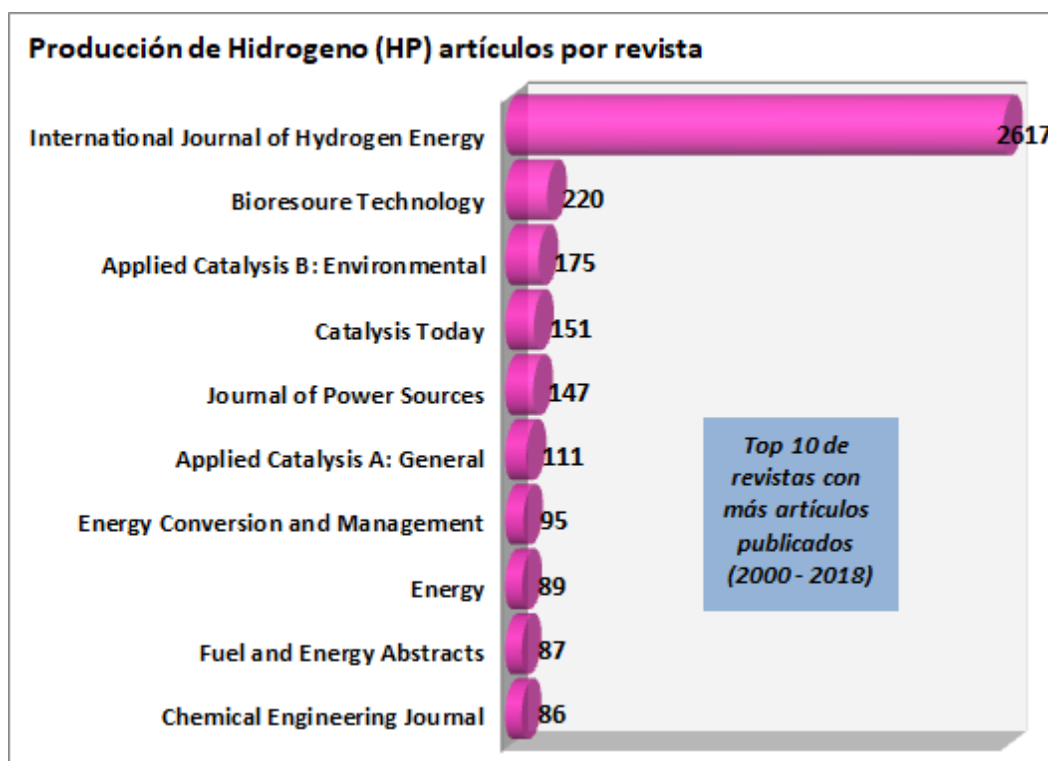
## Anexo A-I



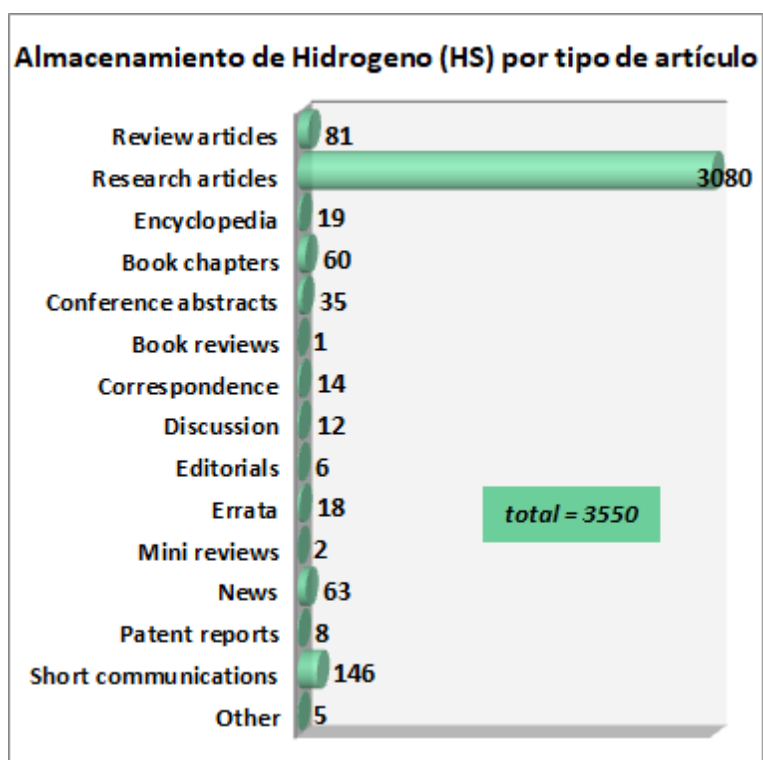
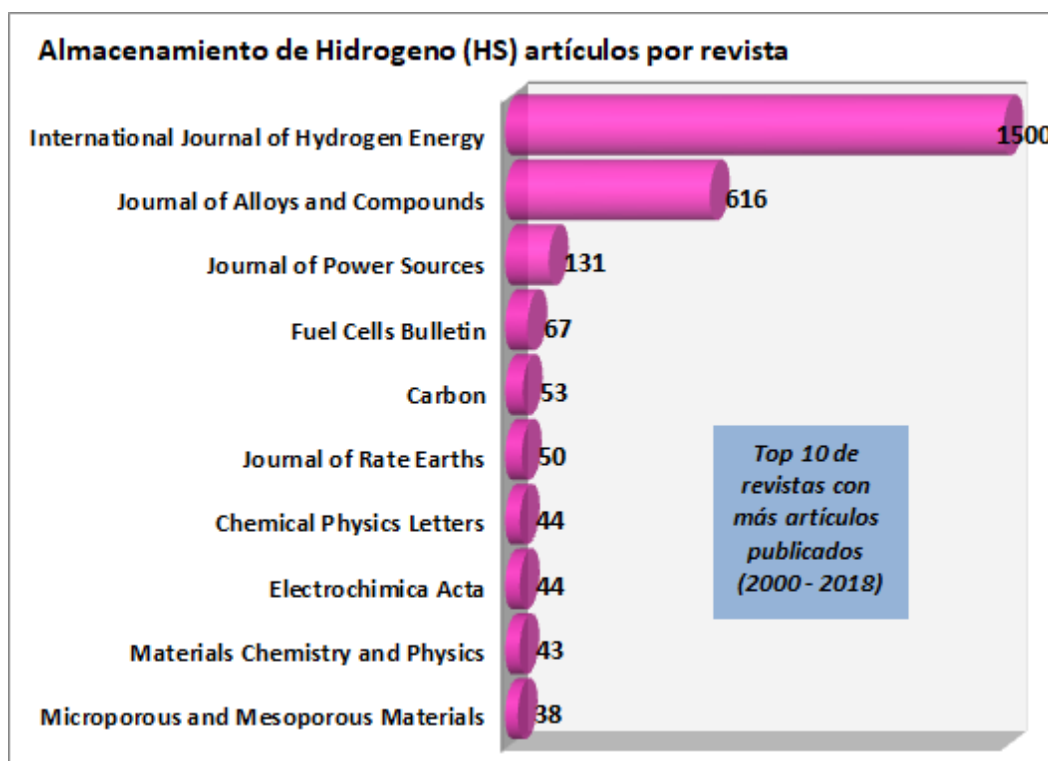
## Anexo A-II



## Anexo A-III

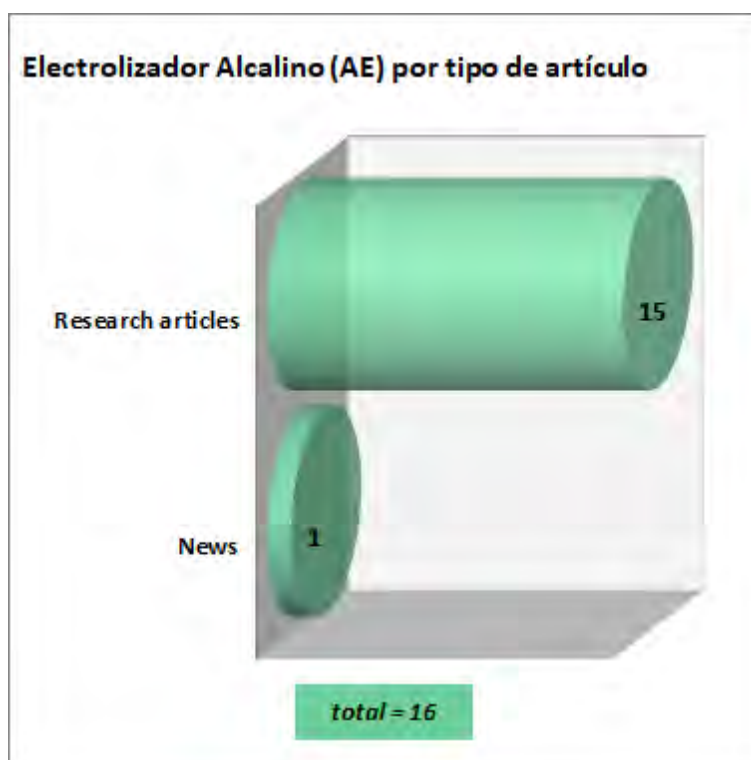
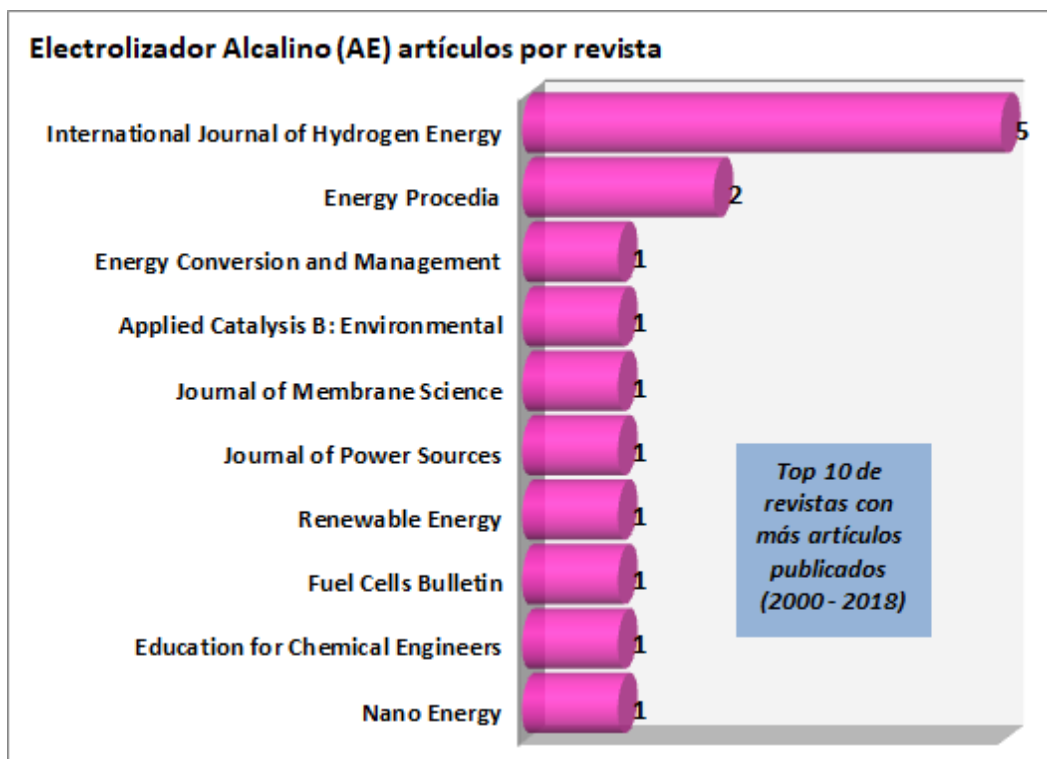


## Anexo A-IV

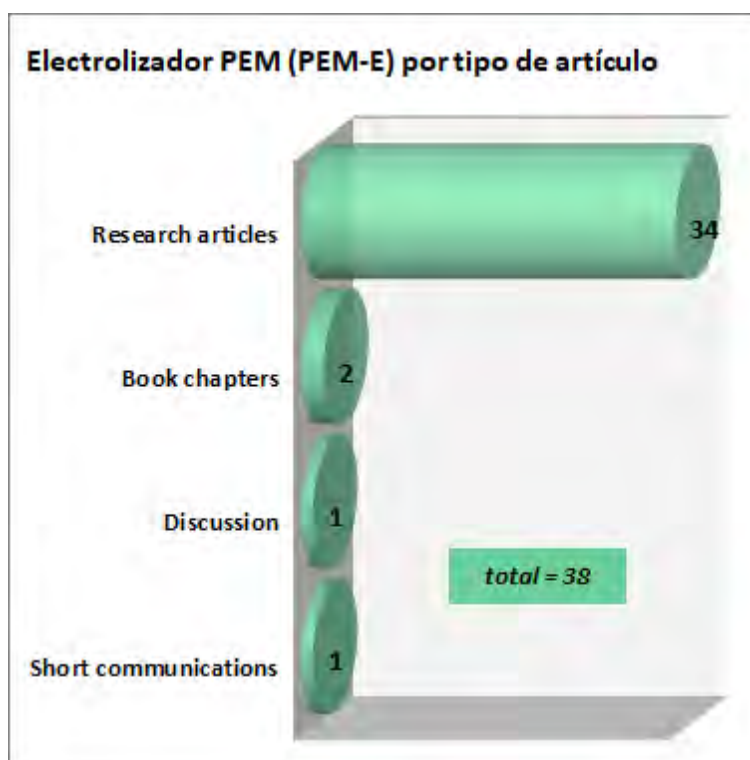
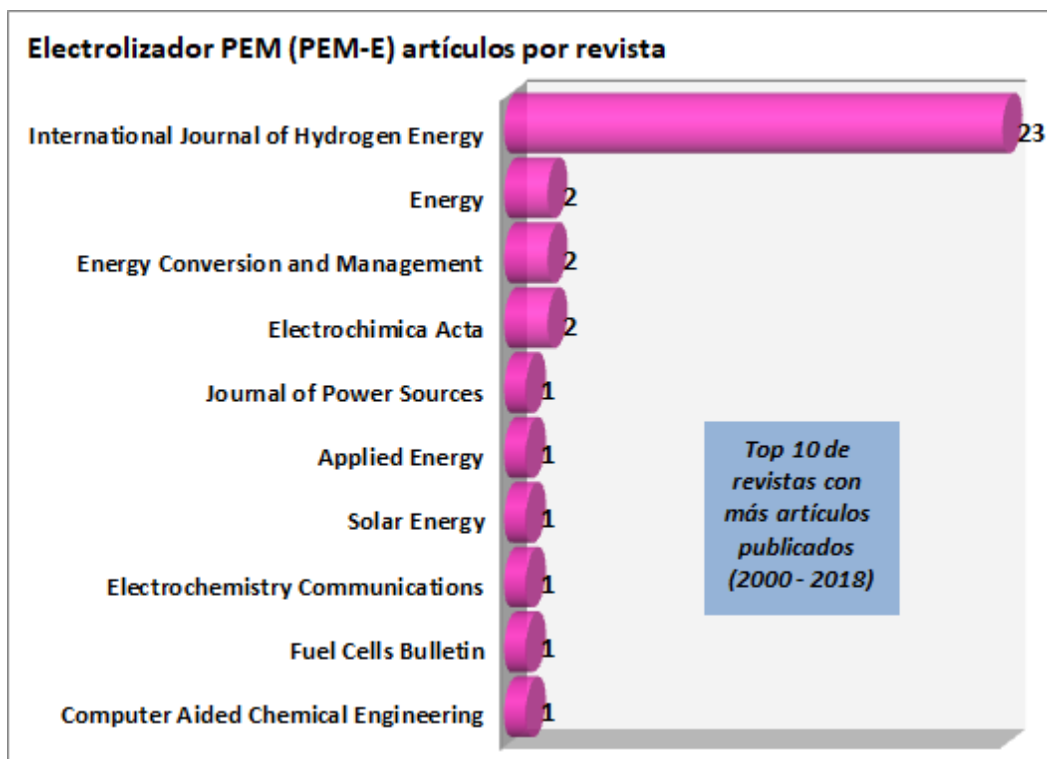




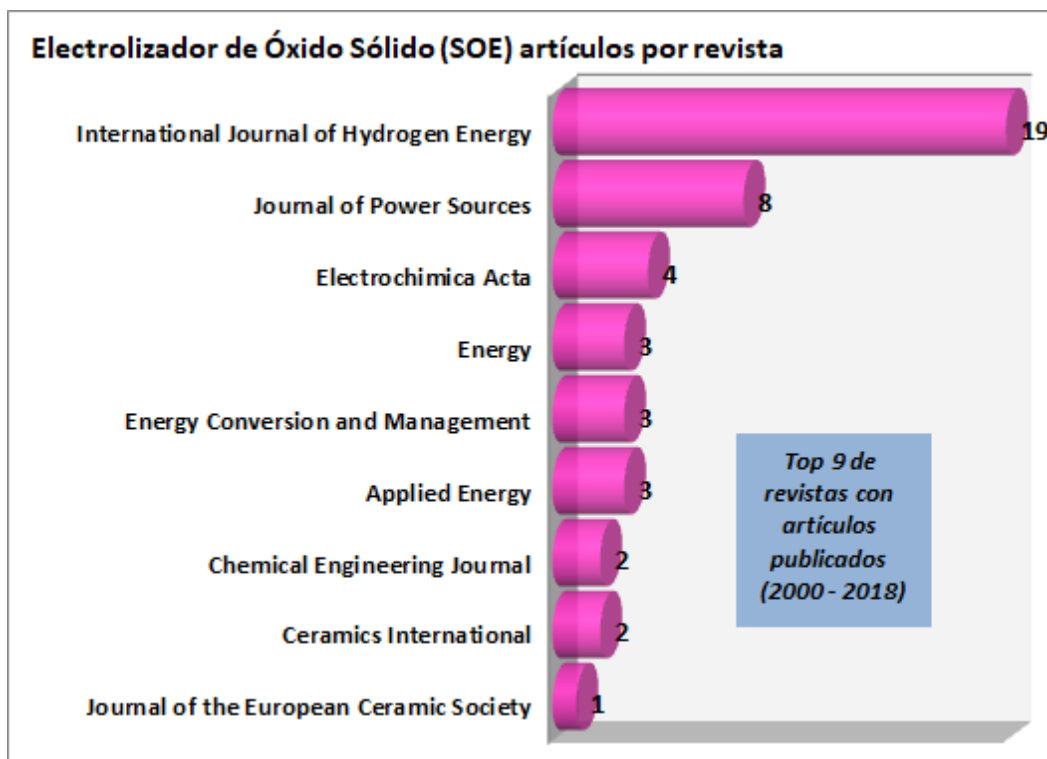
## Anexo A-V



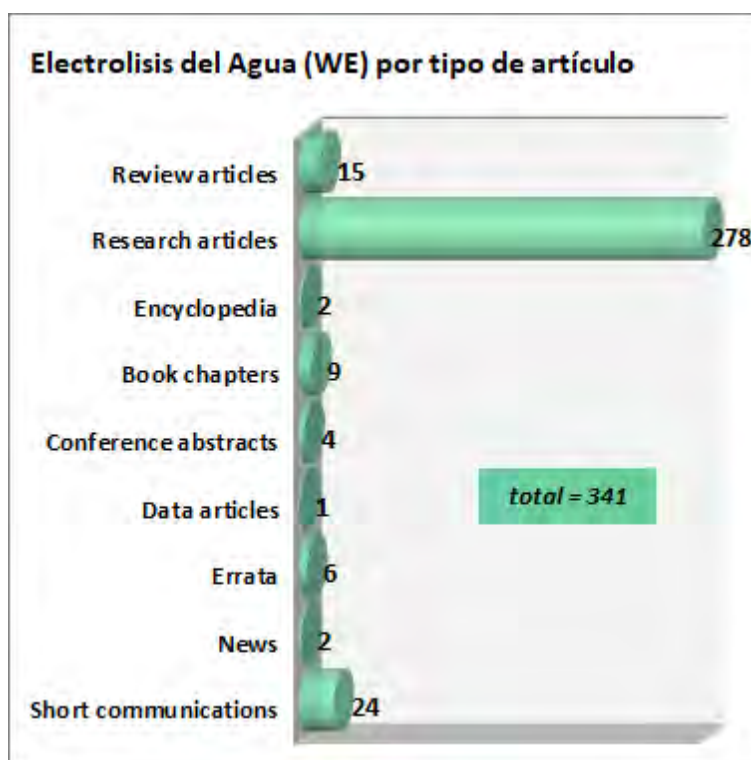
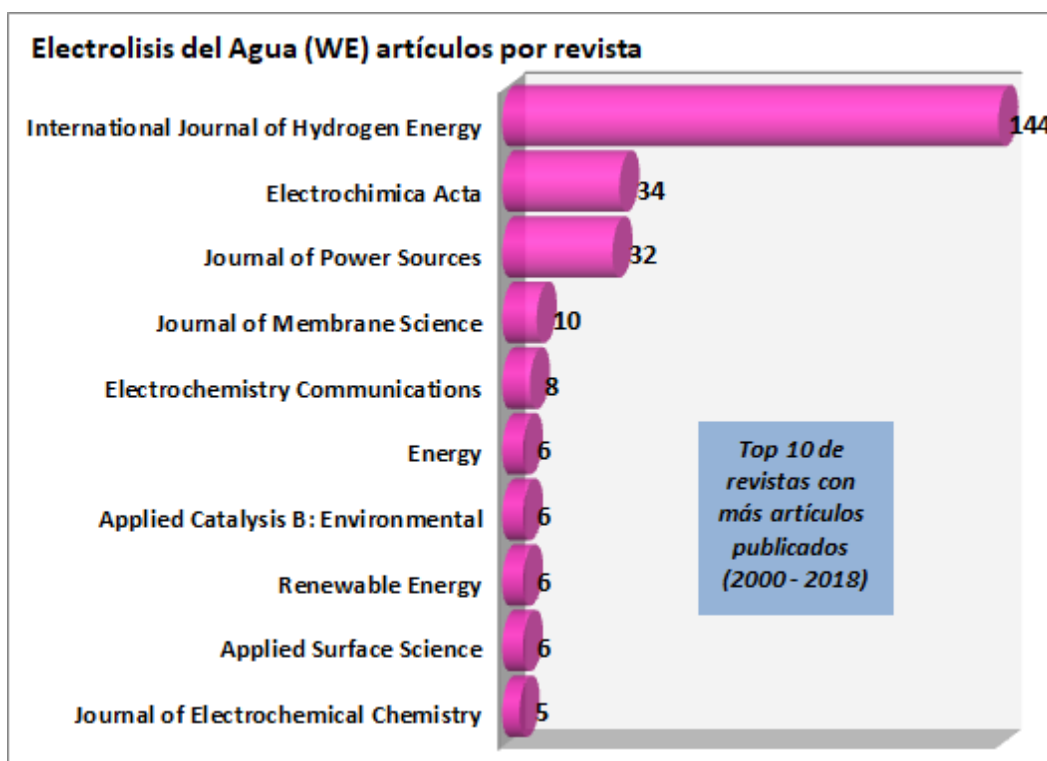
## Anexo A-VI



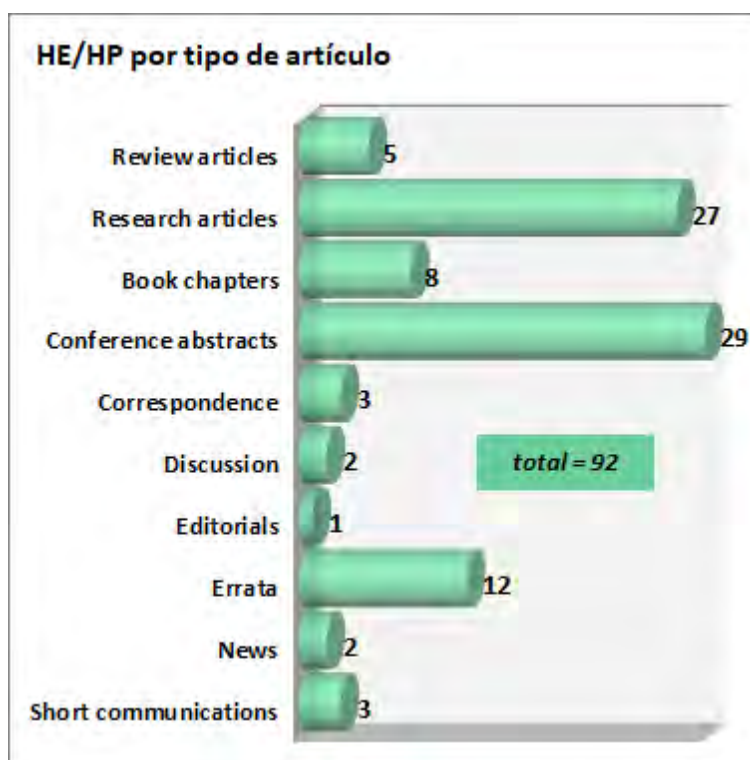
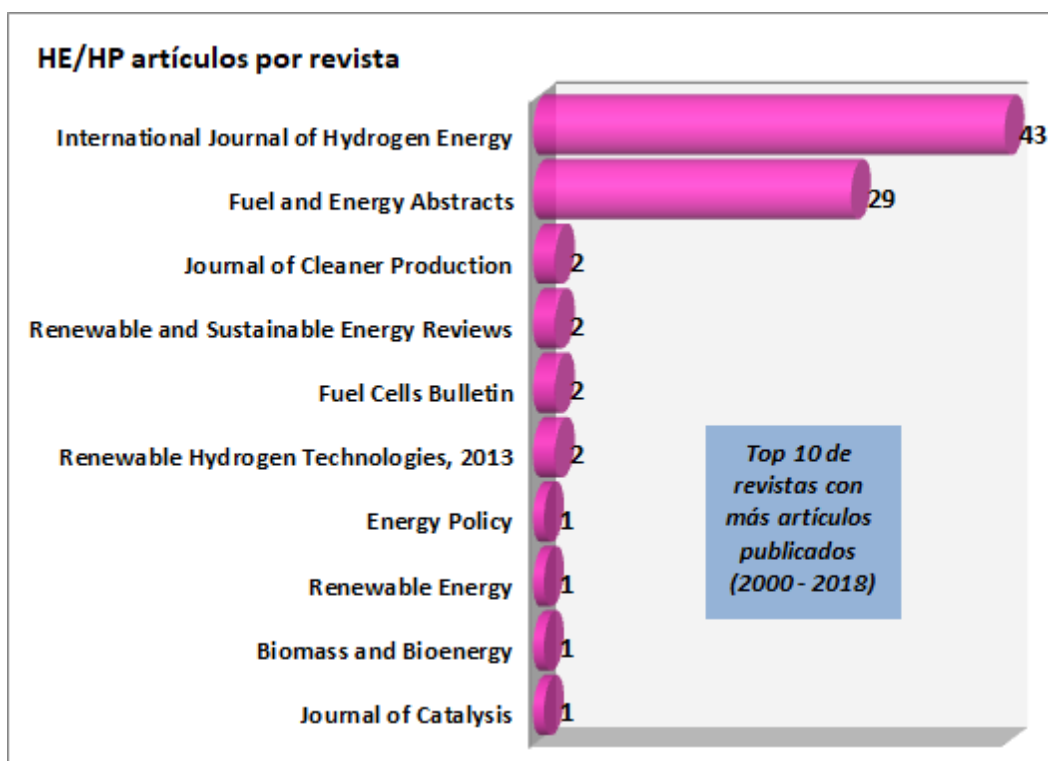
## Anexo A-VII



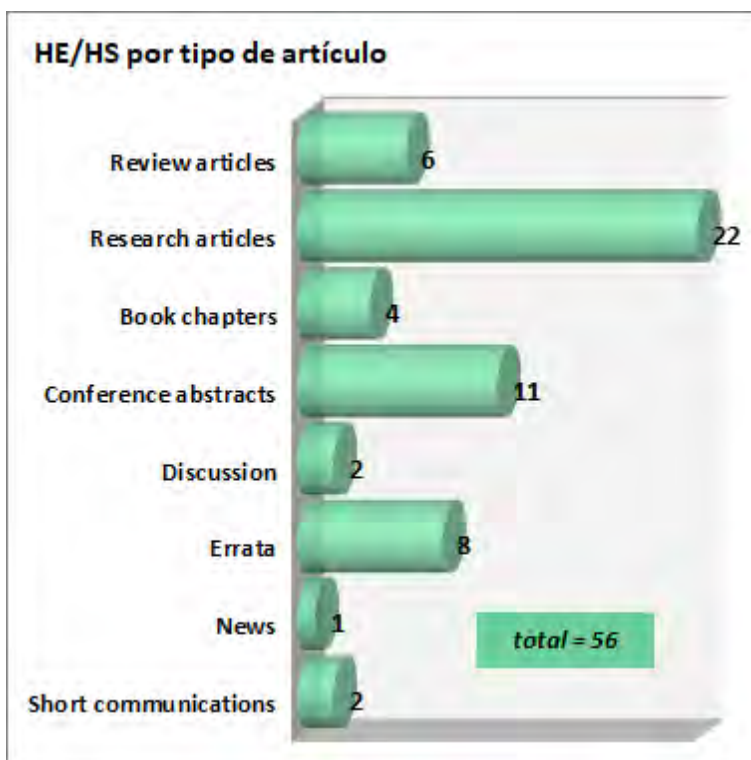
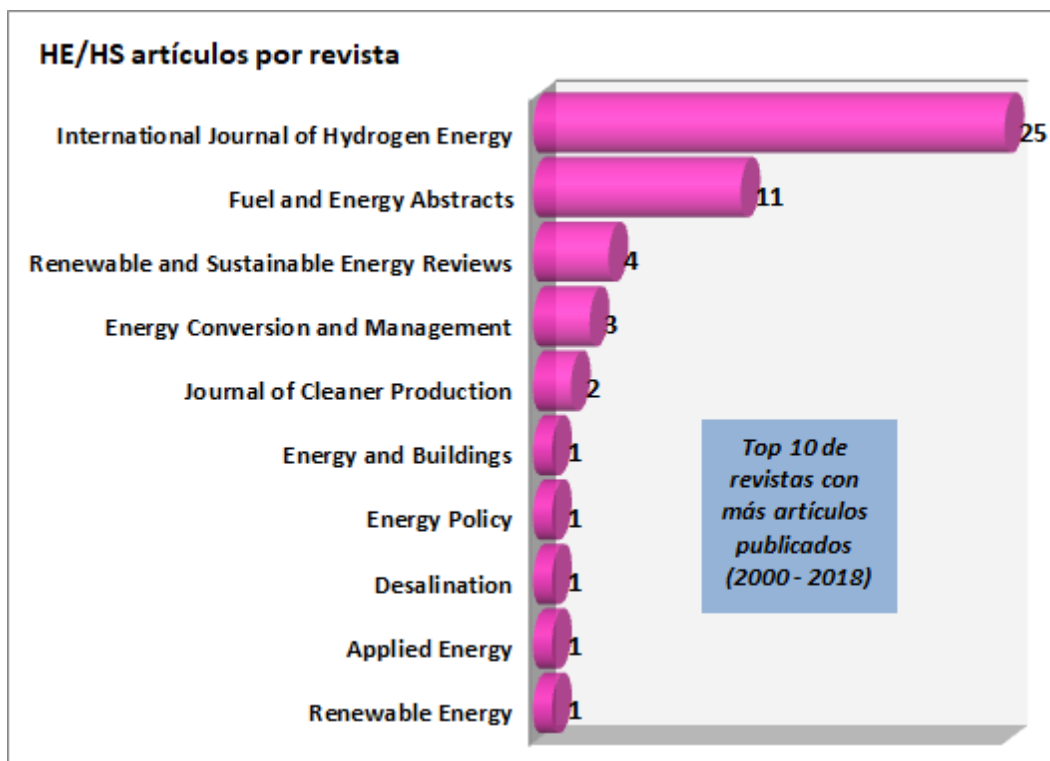
## Anexo A-VIII



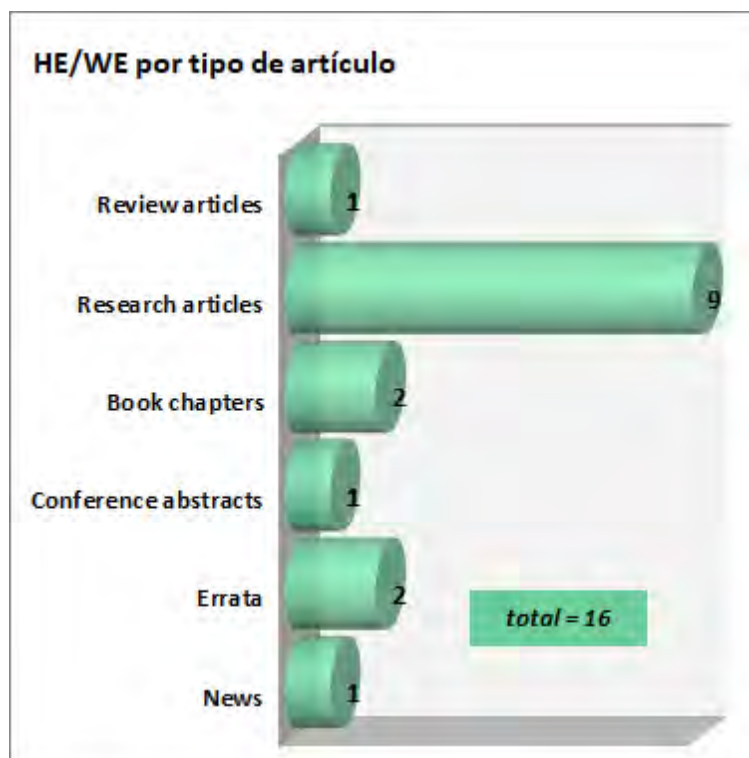
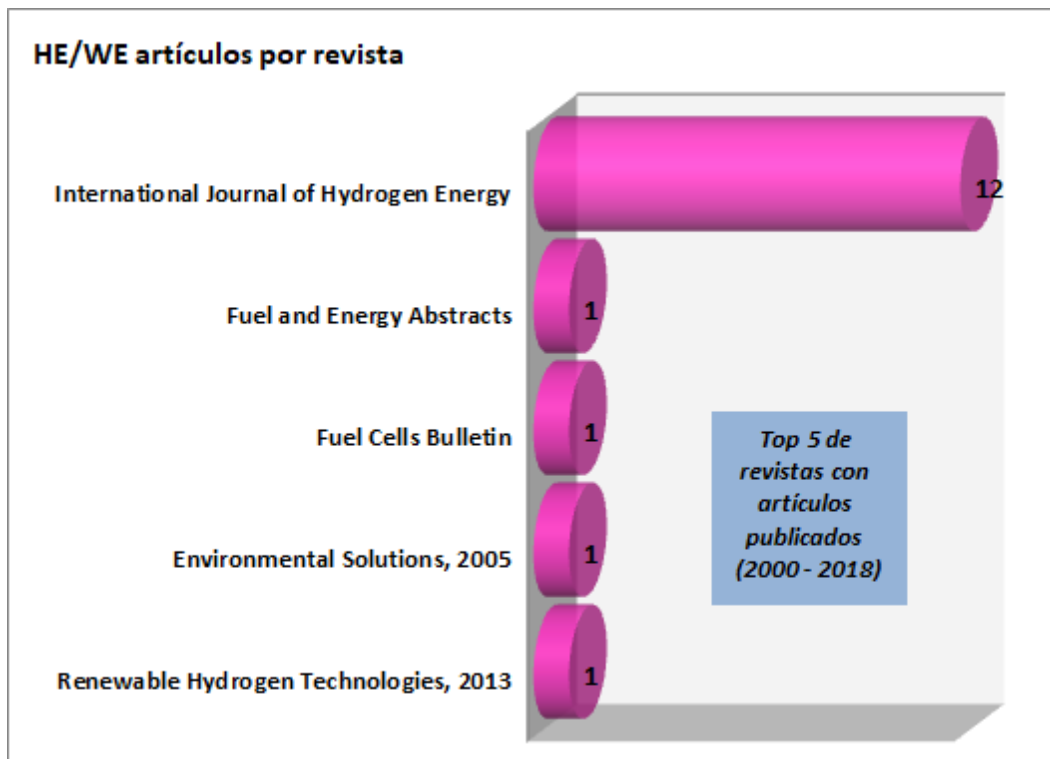
## Anexo A-IX



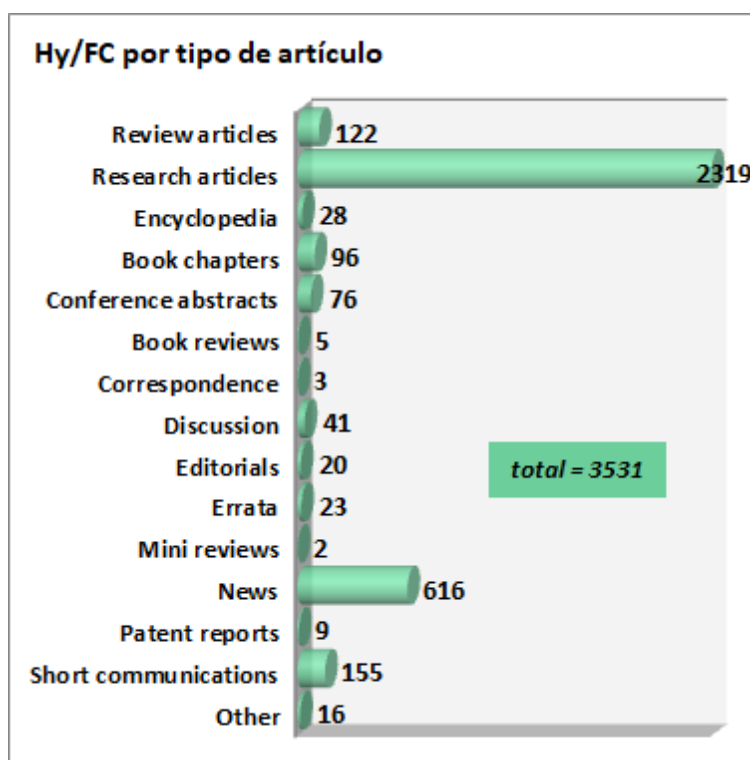
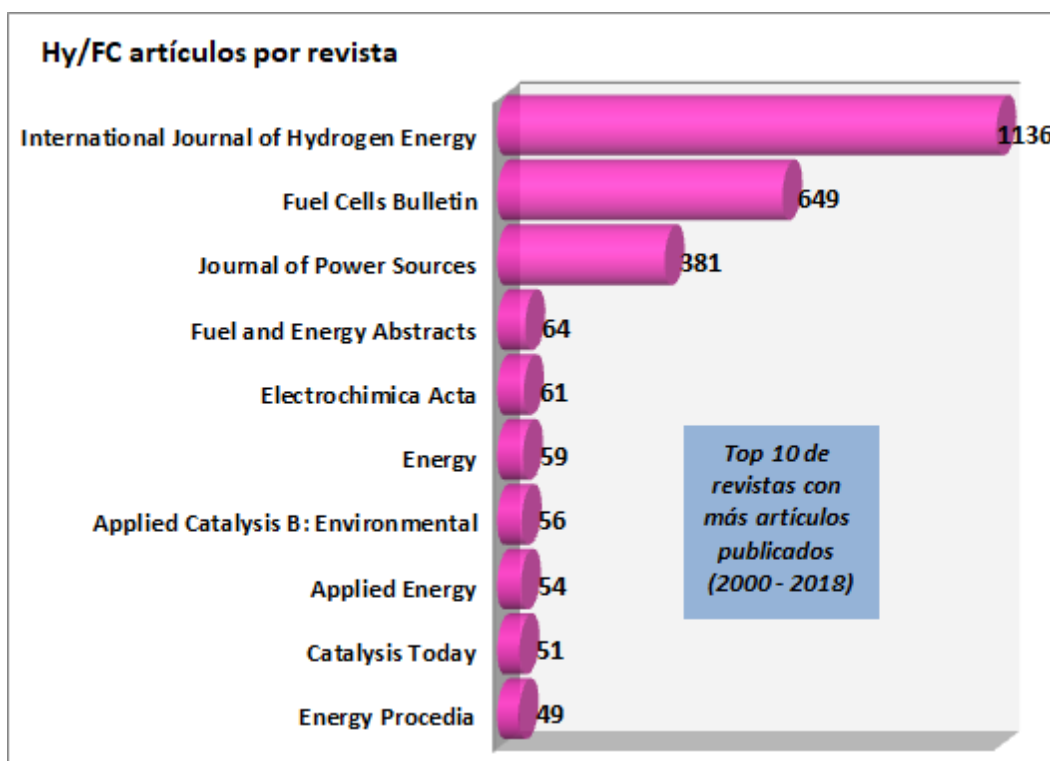
## Anexo A-X



## Anexo A-XIII

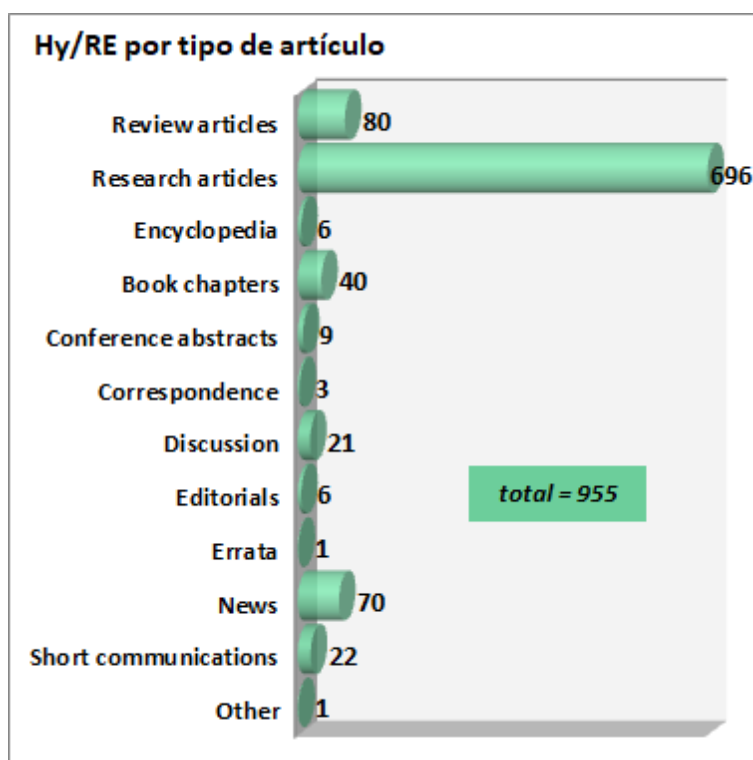
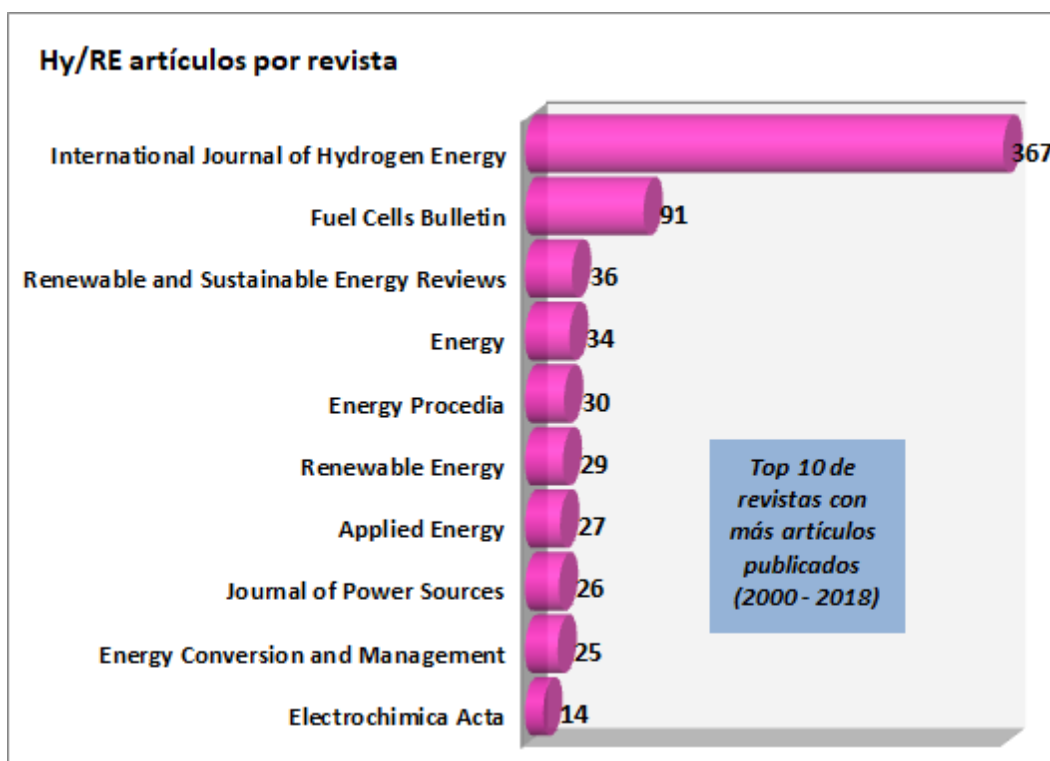


## Anexo B-XVI

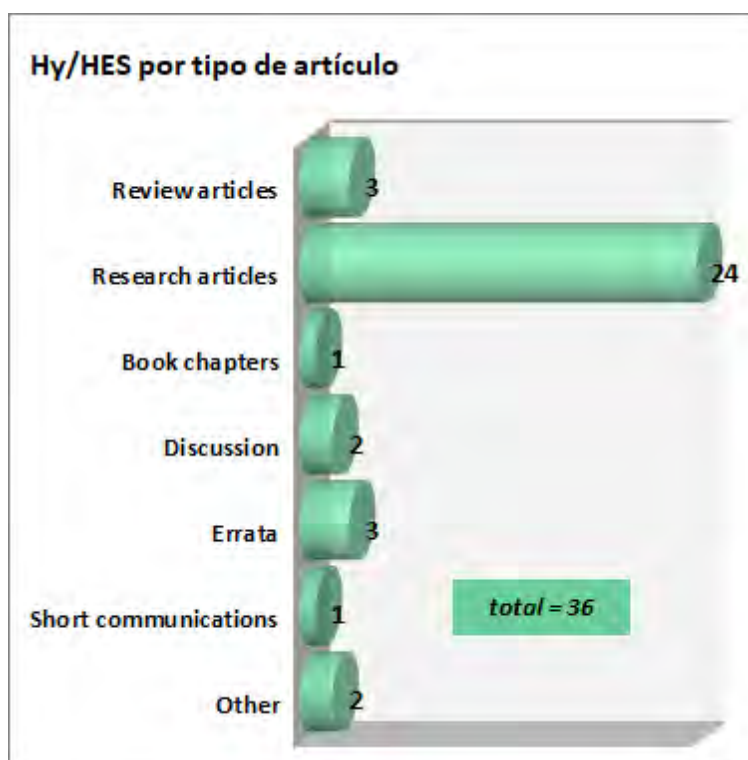
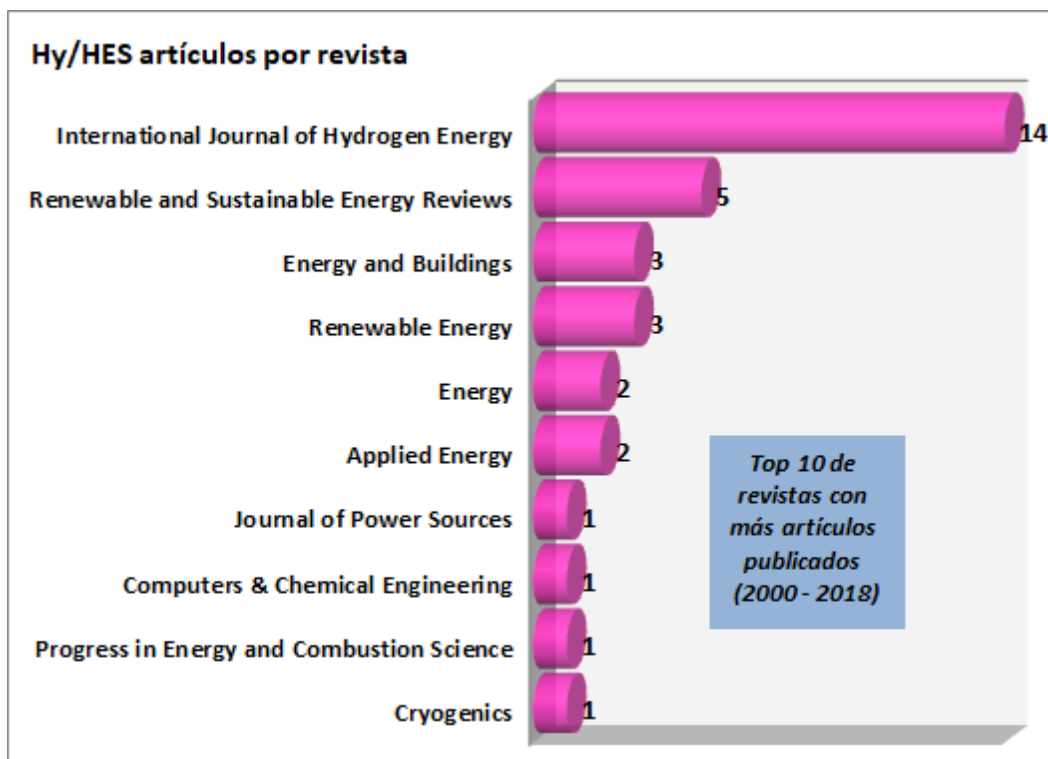




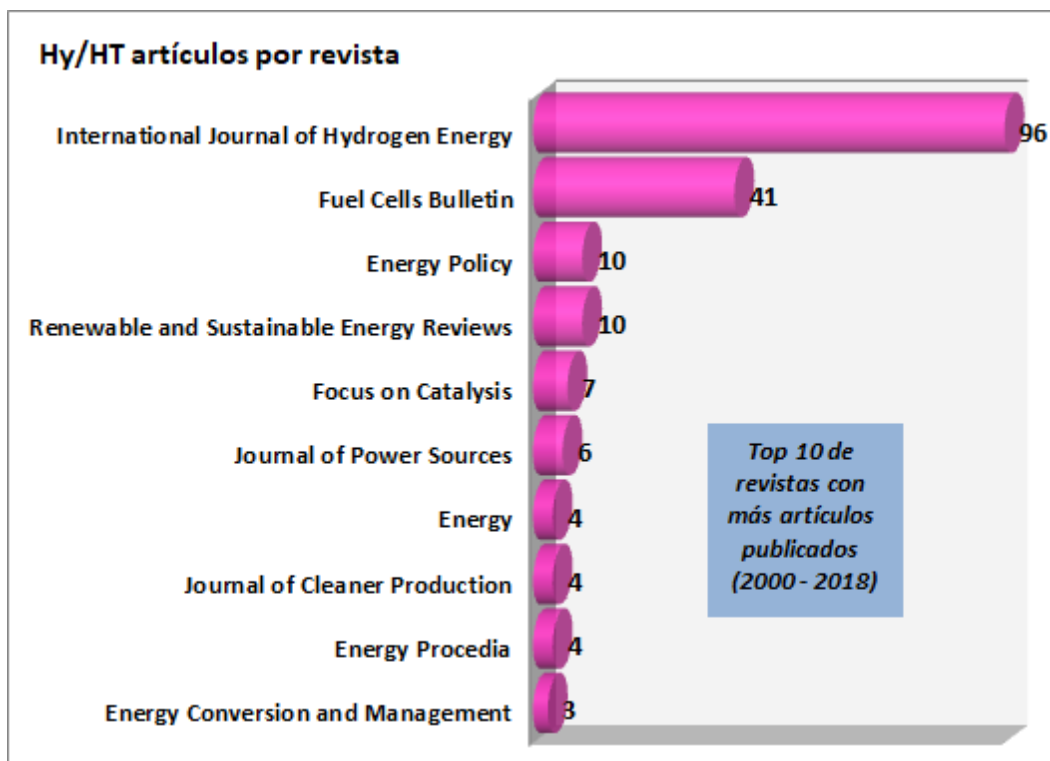
## Anexo B-XV



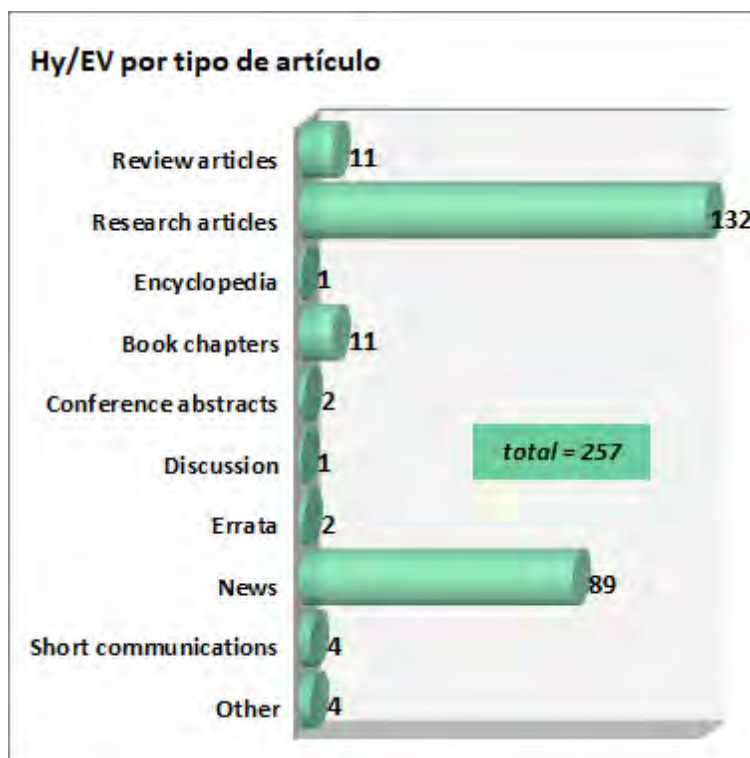
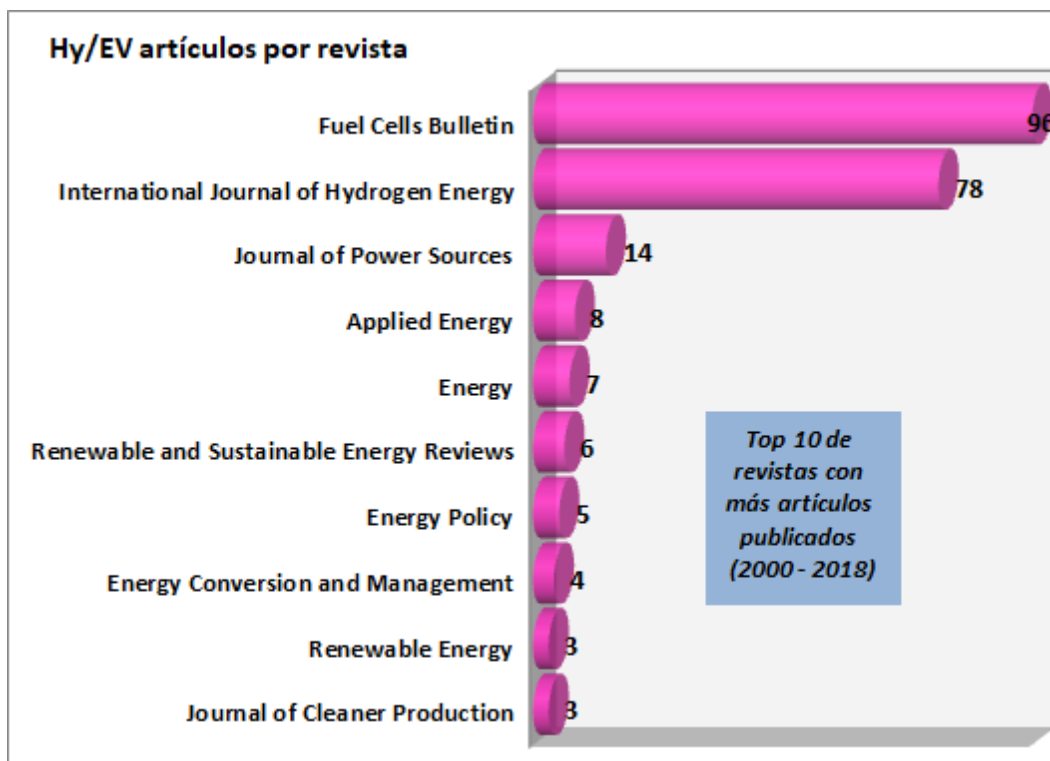
## Anexo B-XVI



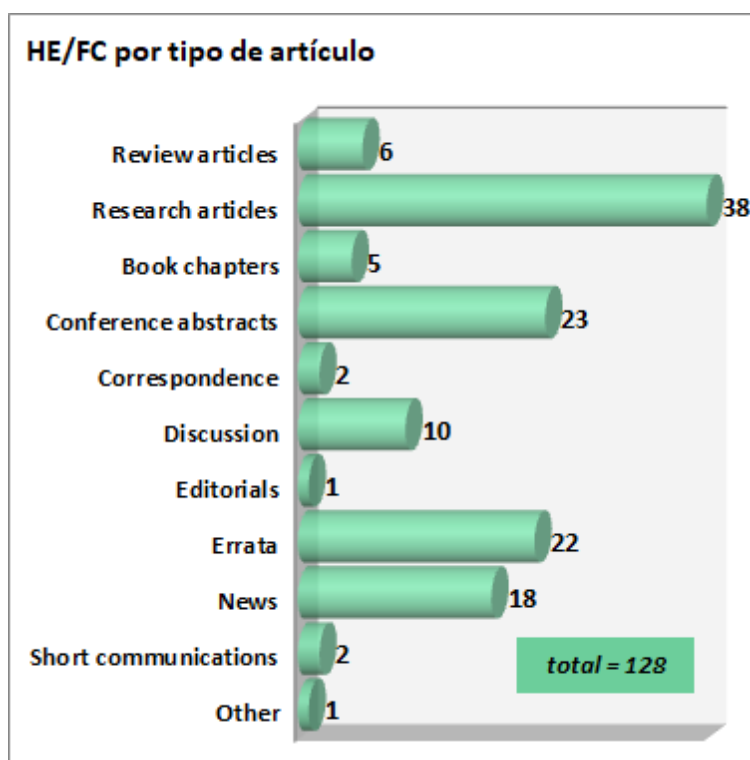
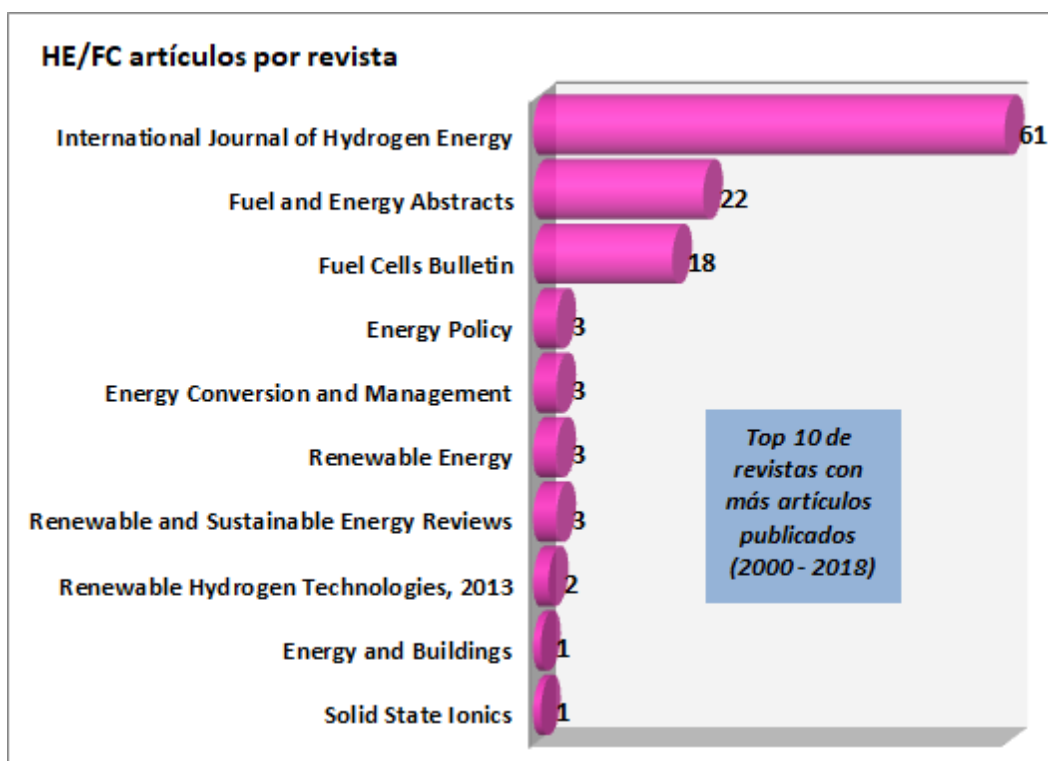
## Anexo B-XVII



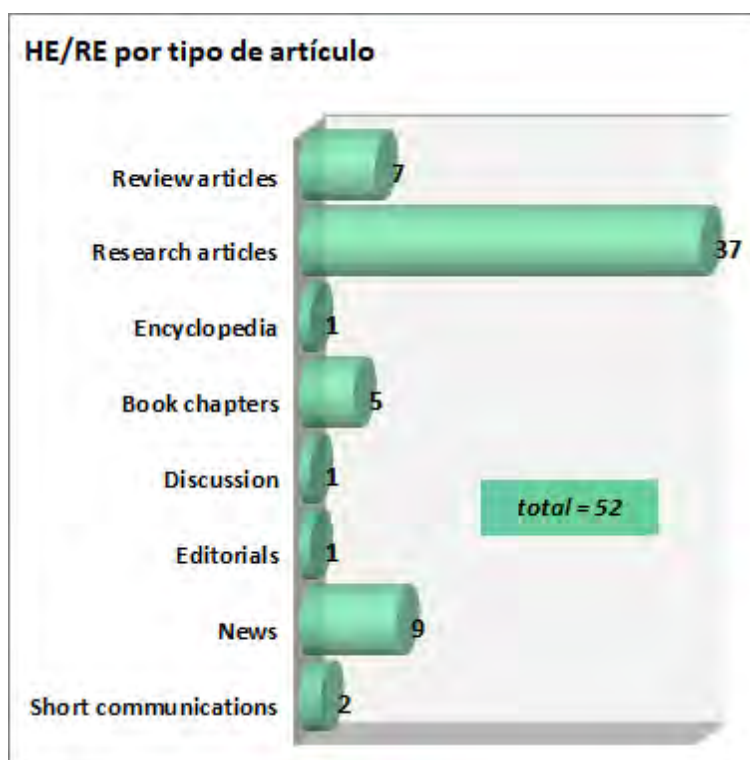
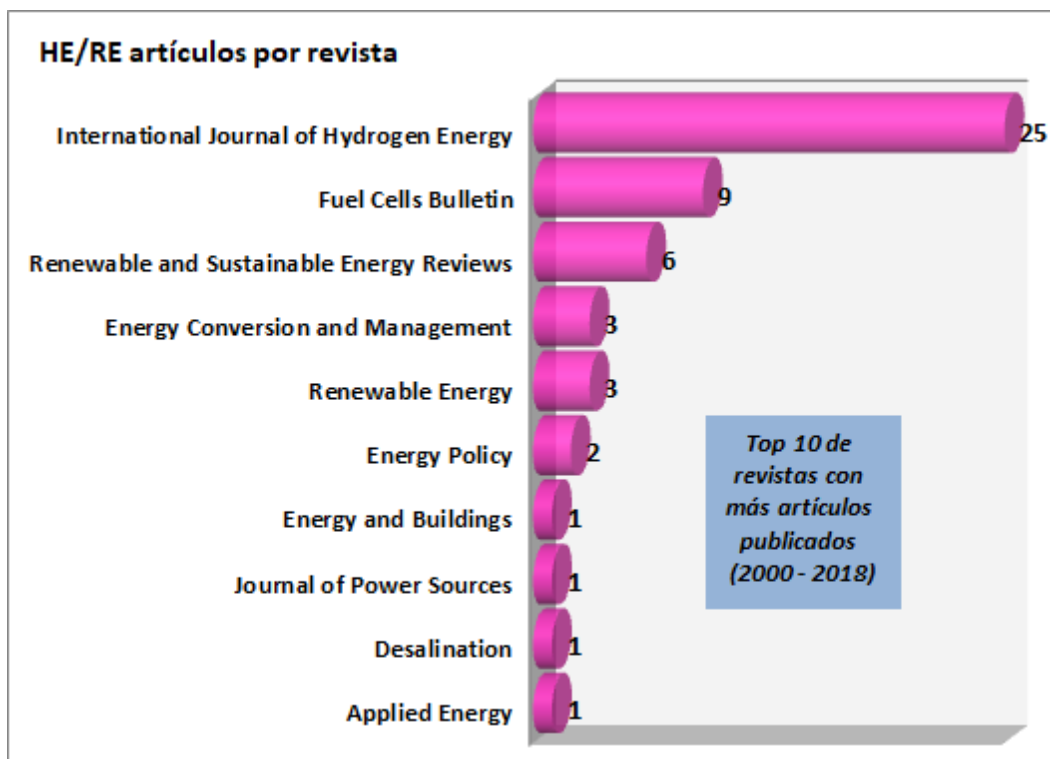
## Anexo B-XVIII



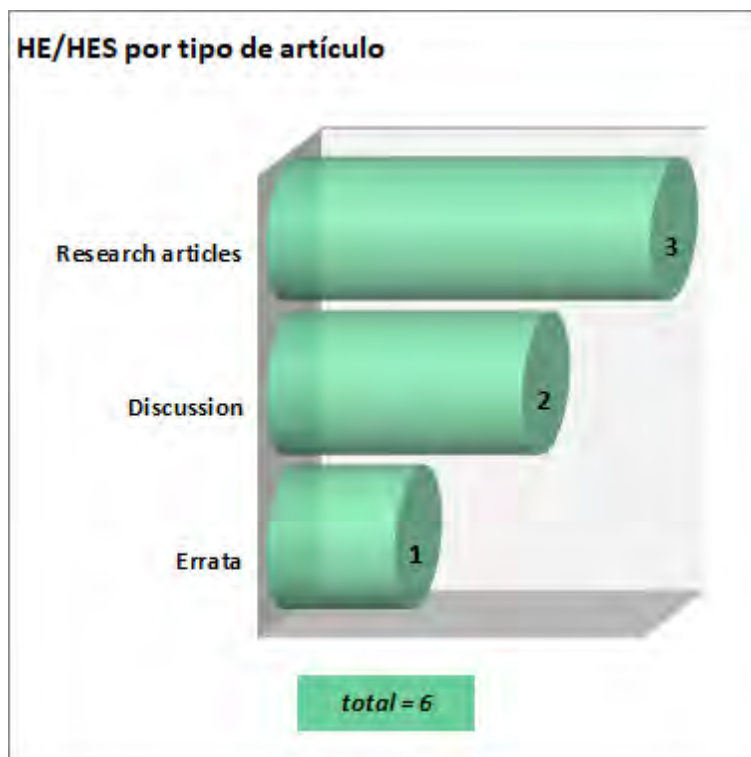
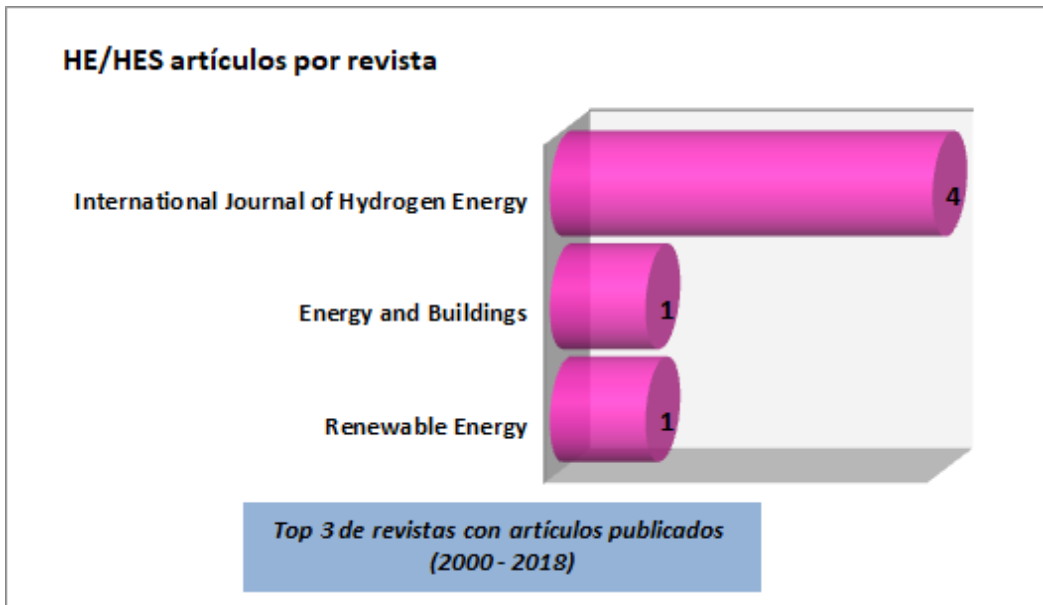
## Anexo B-XIX



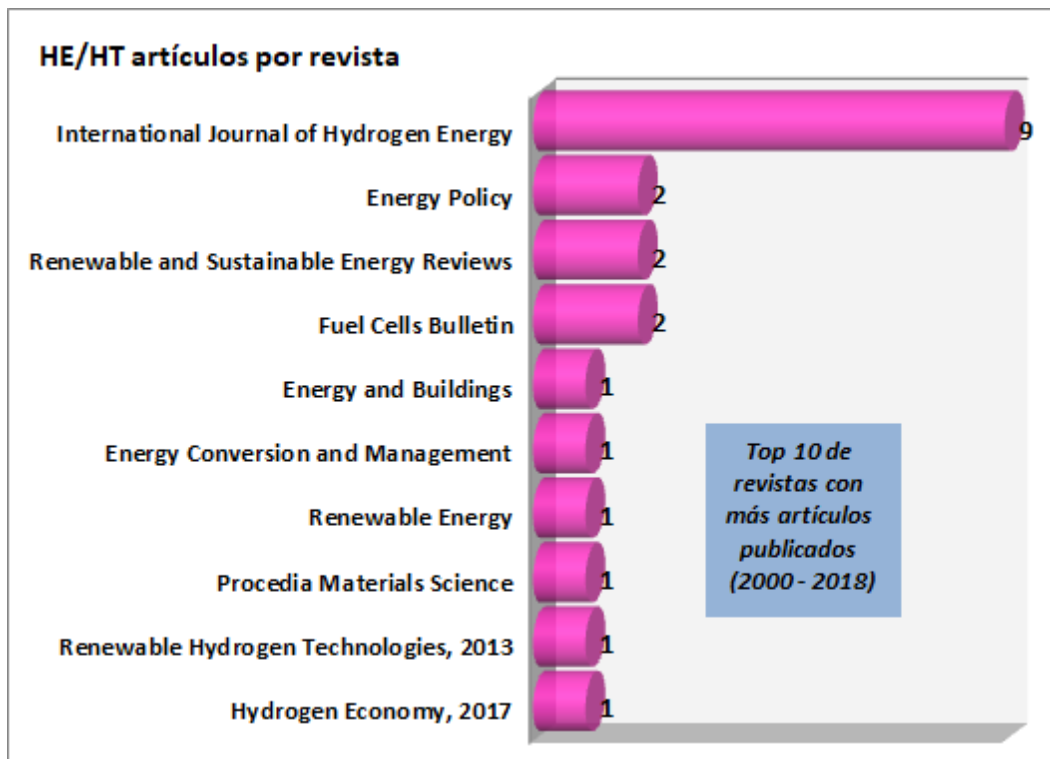
## Anexo B-XX



## Anexo B-XXI

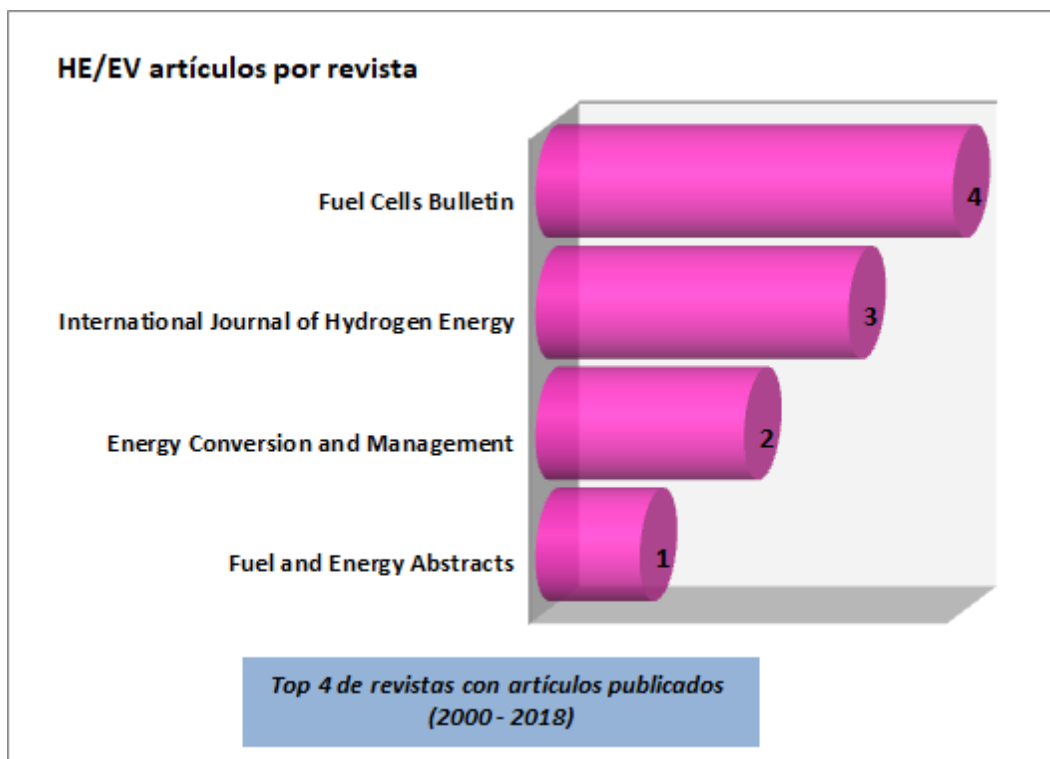


## Anexo B-XXII

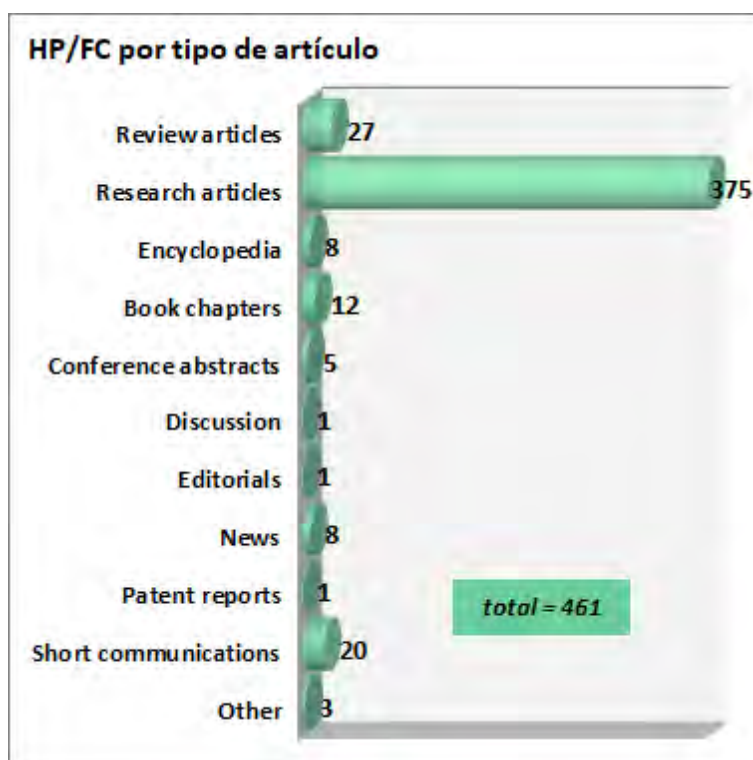
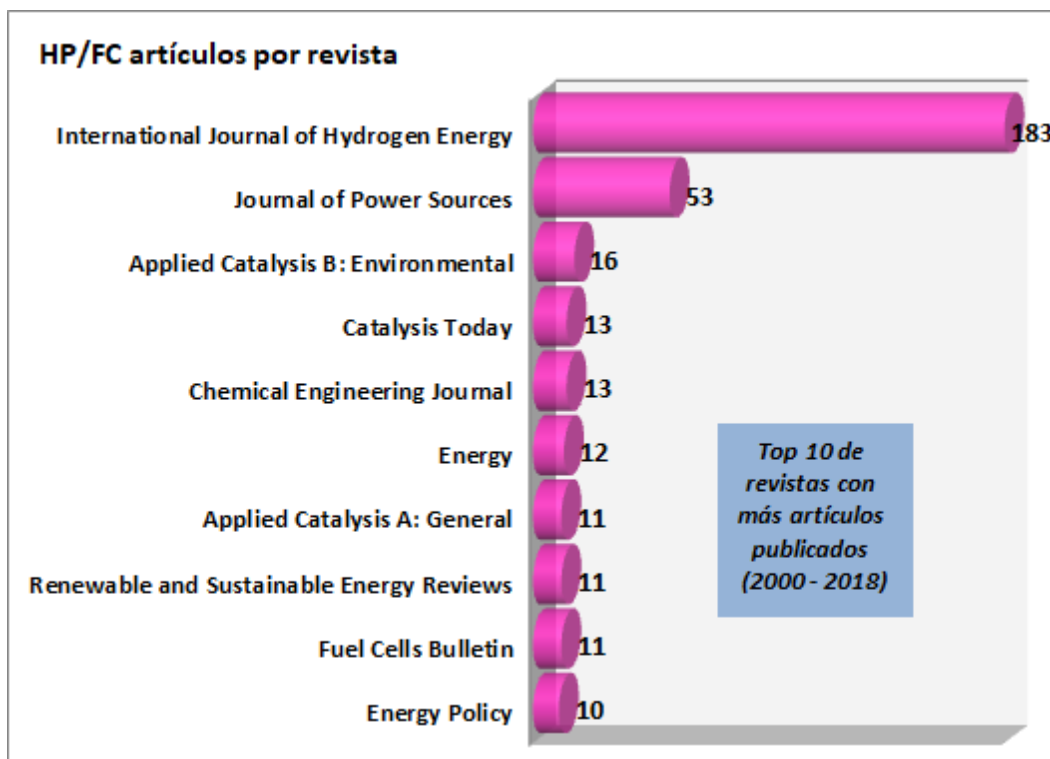




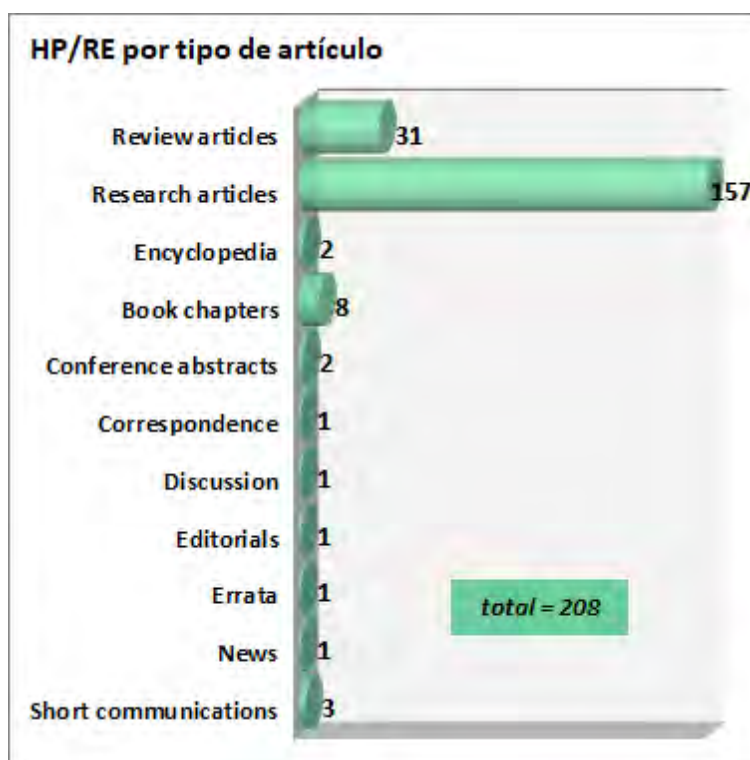
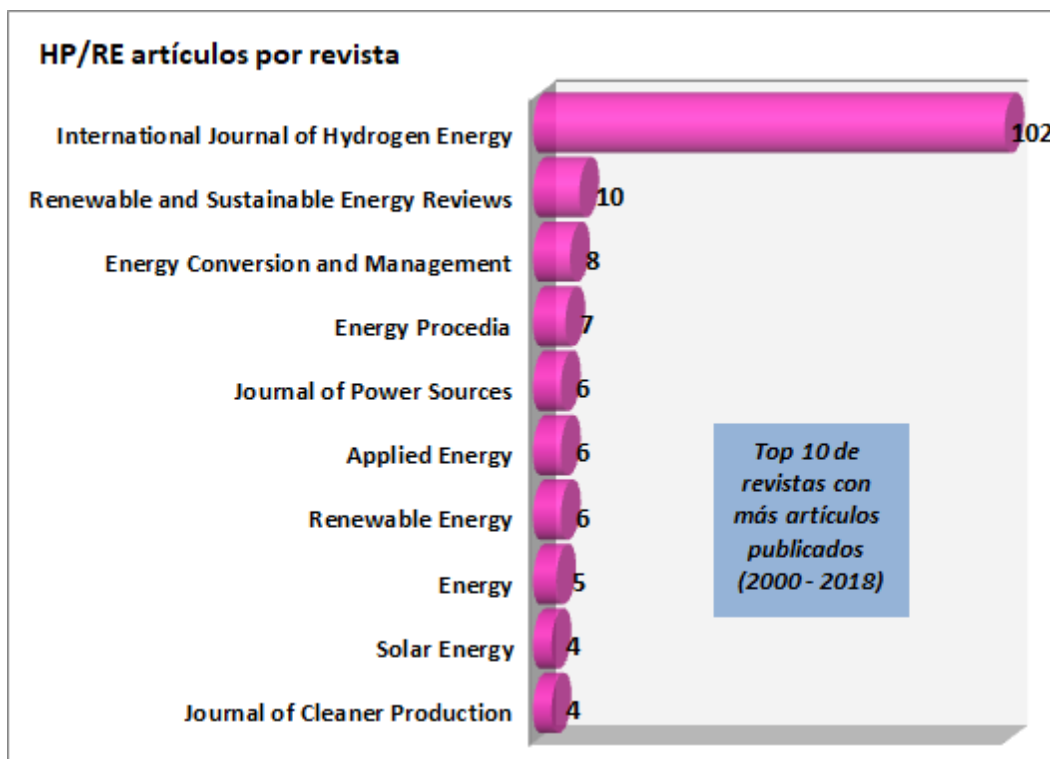
## Anexo B-XXIII



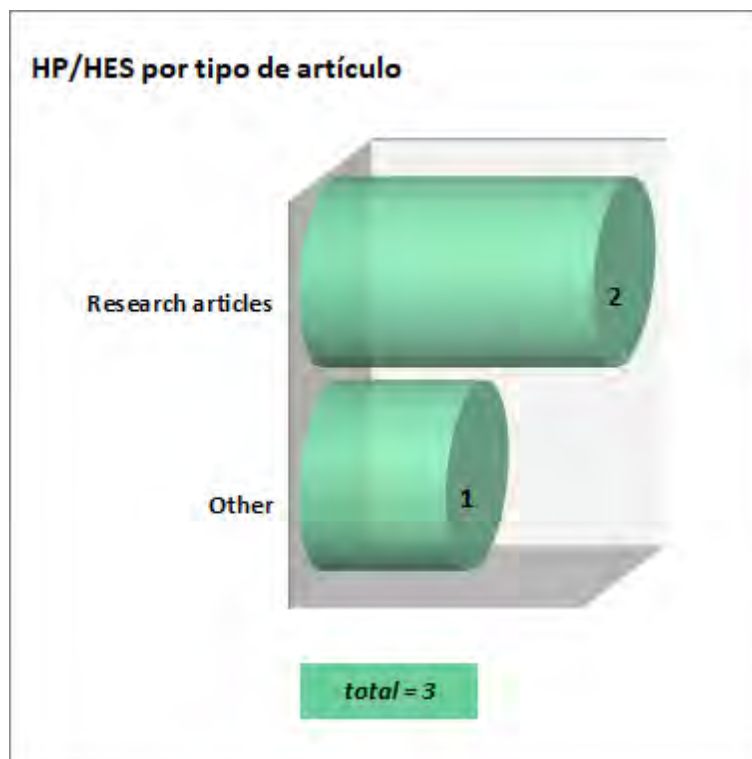
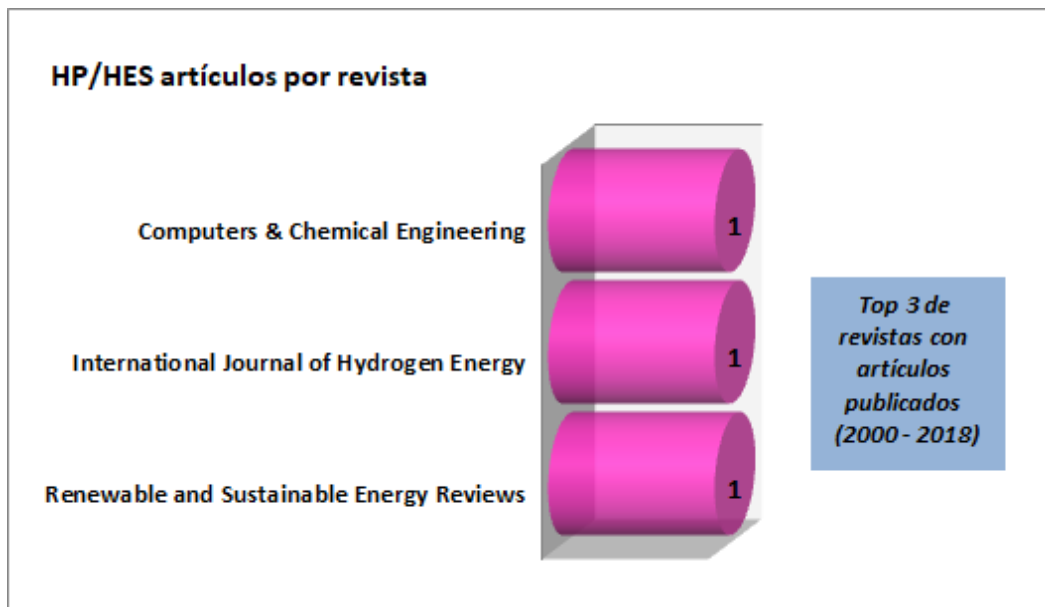
## Anexo B-XXIV



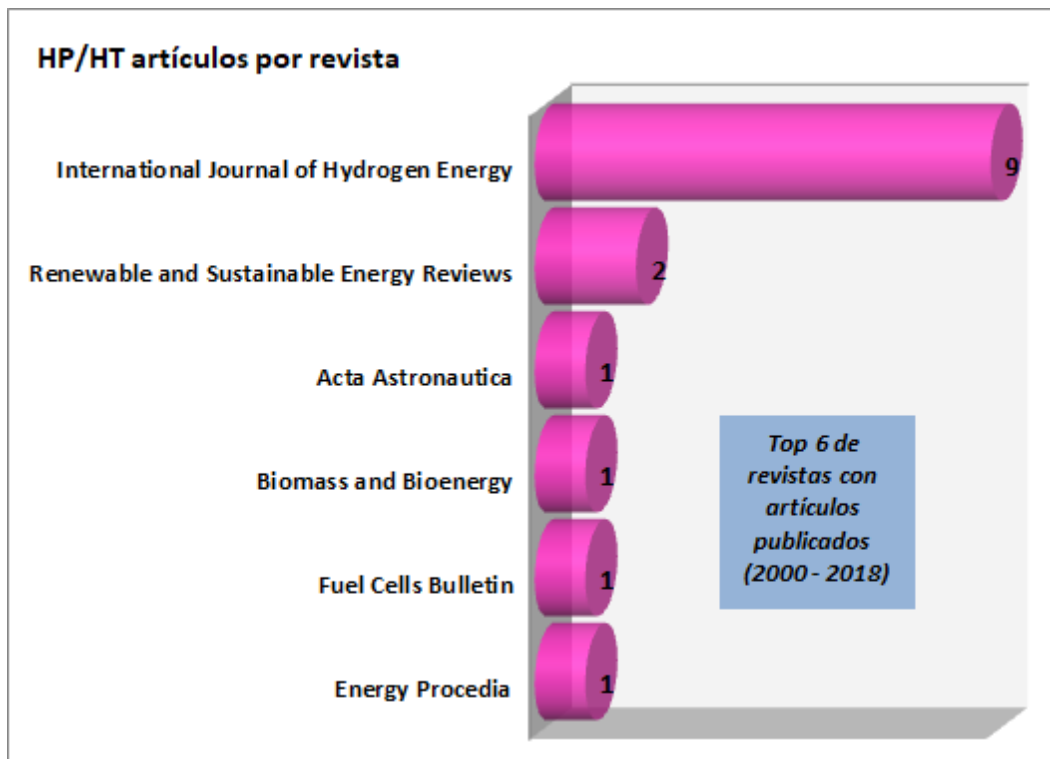
## Anexo B-XXV



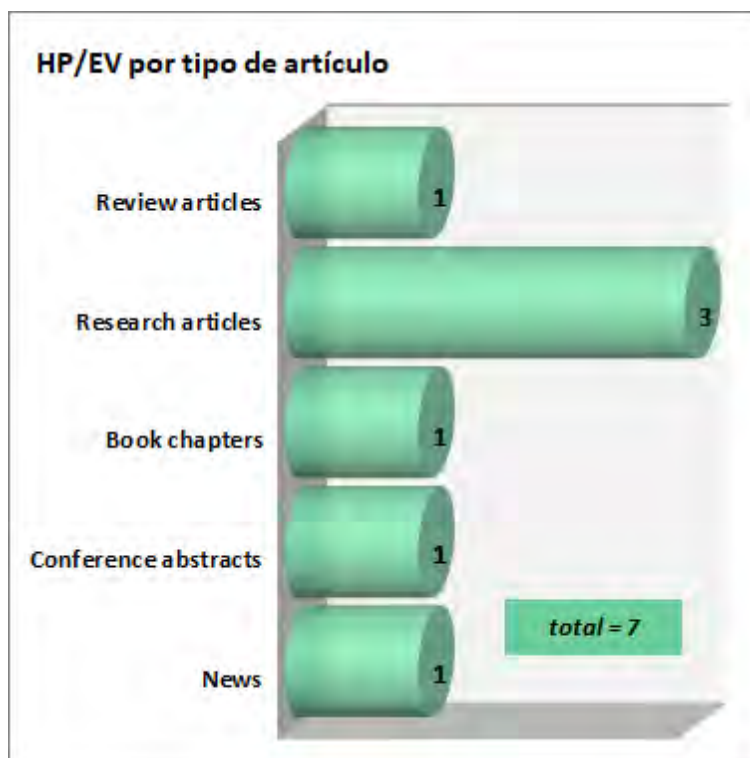
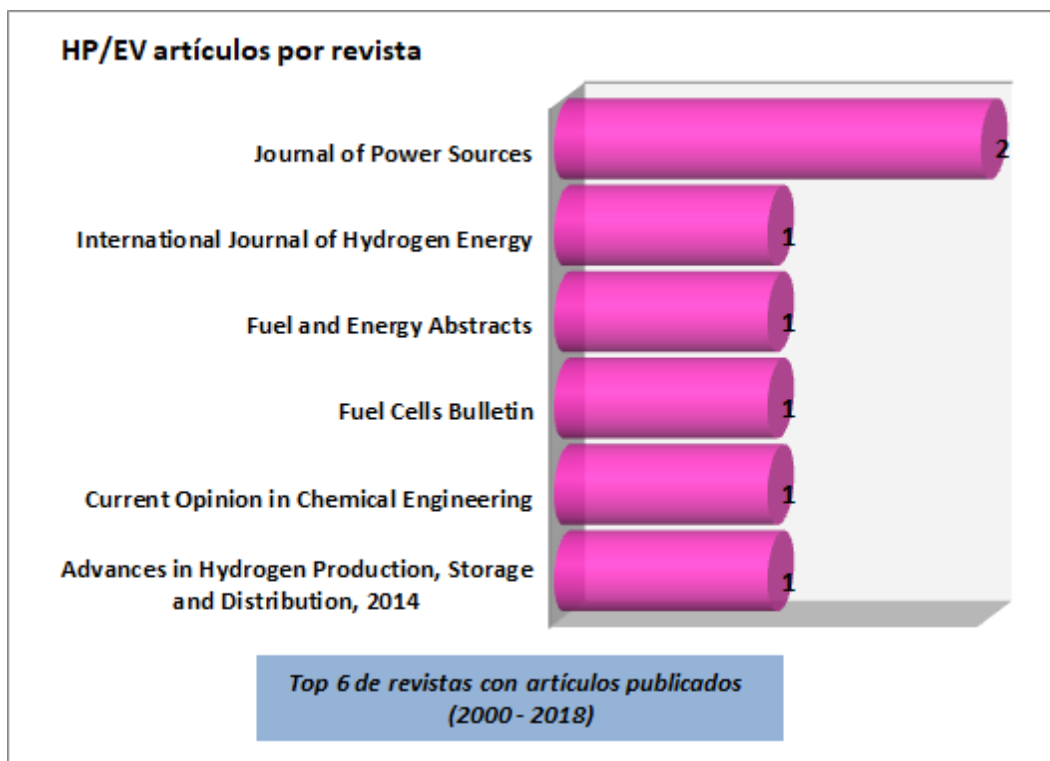
## Anexo B-XXVI



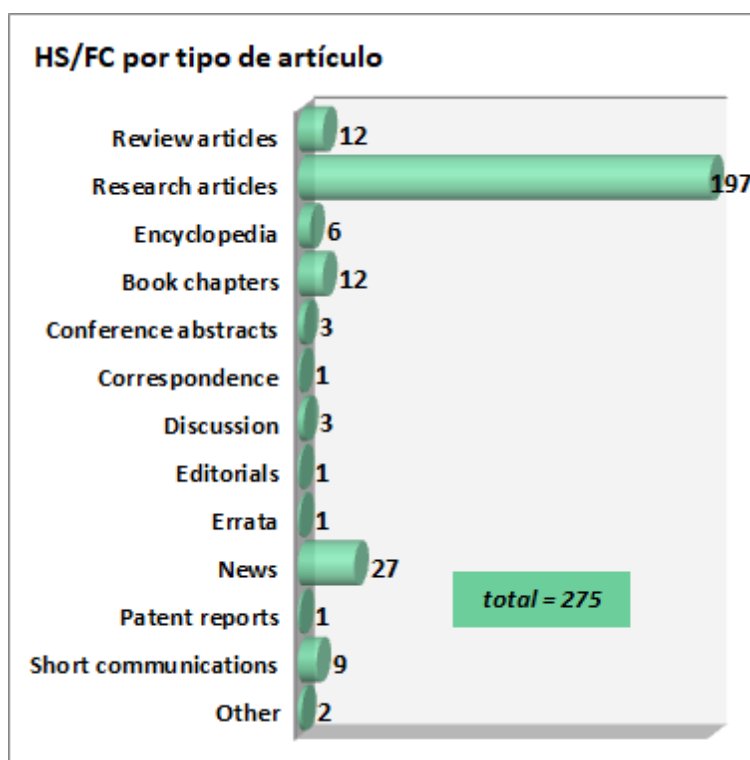
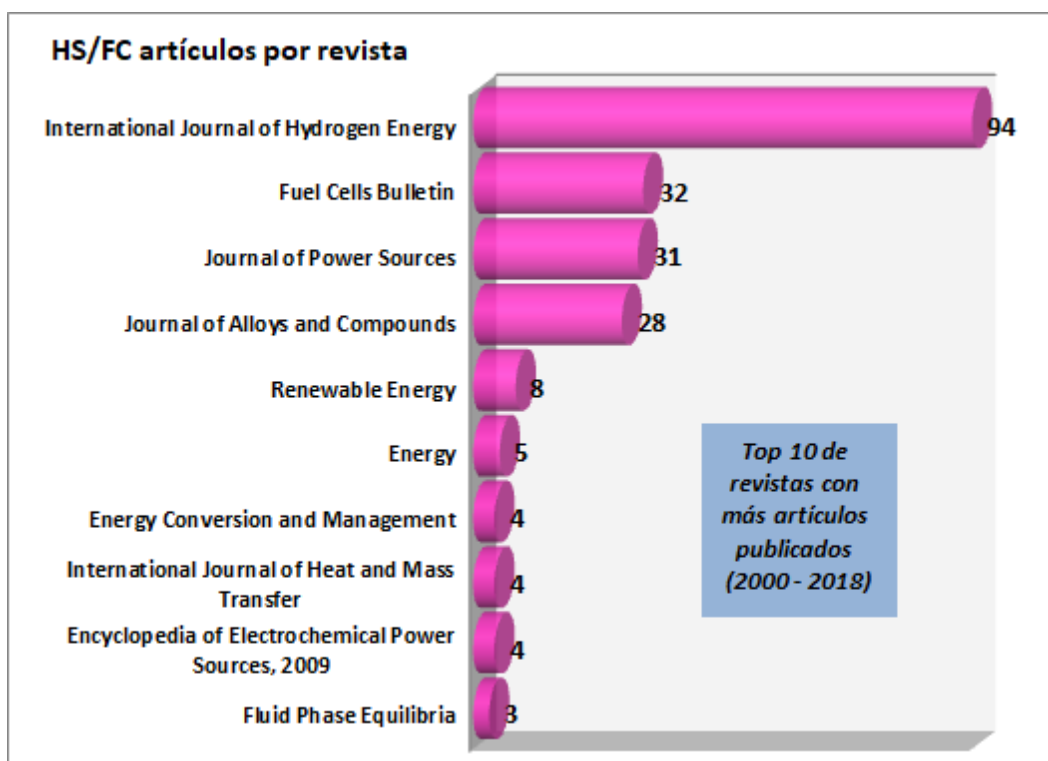
## Anexo B-XXVII



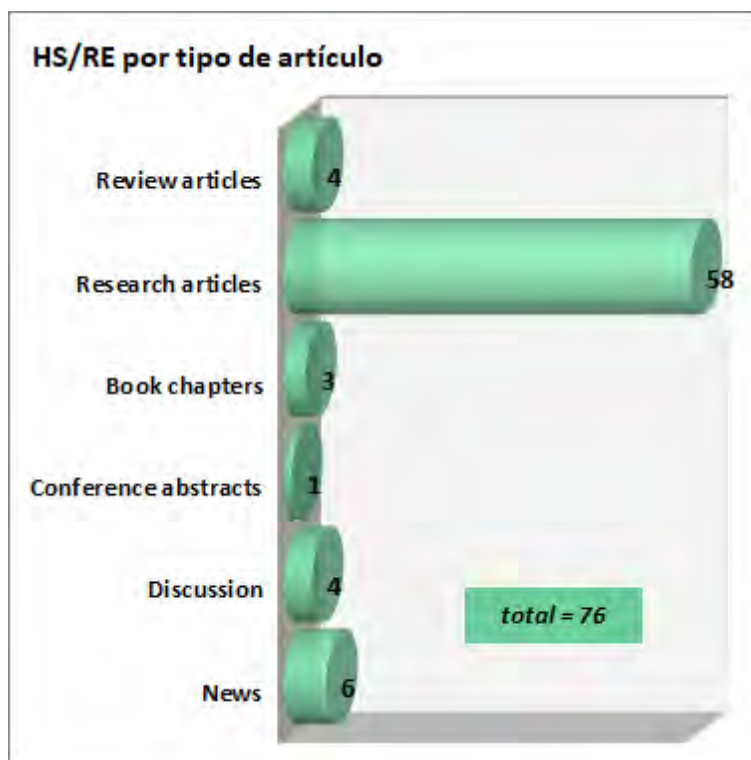
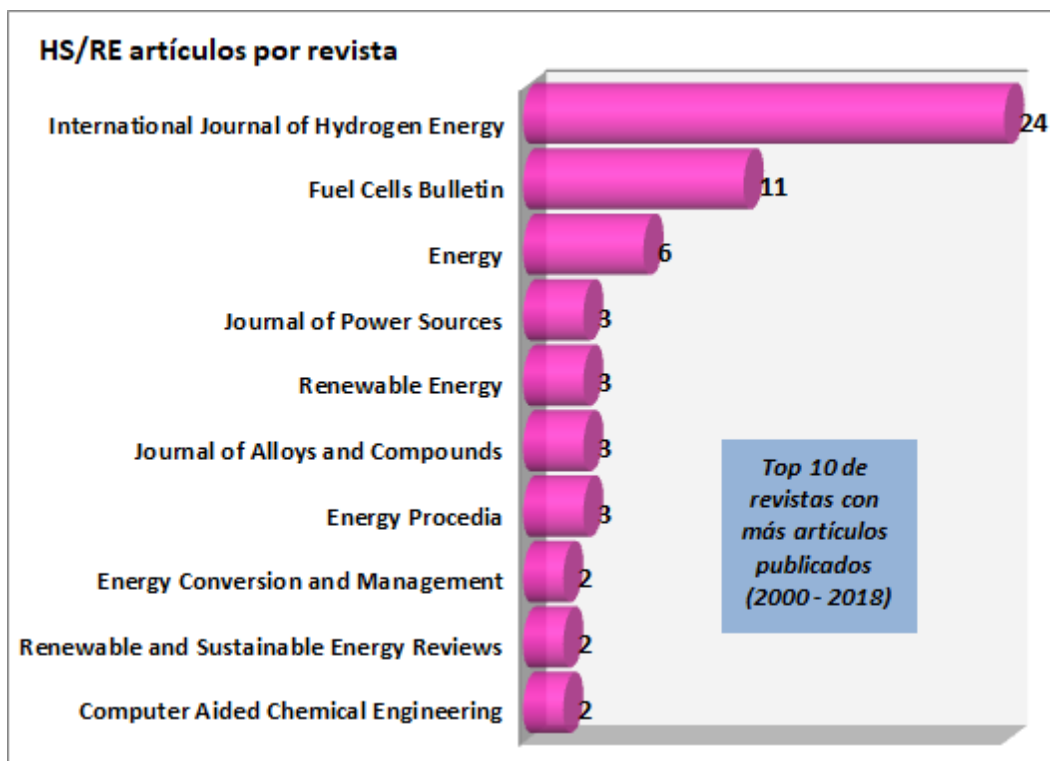
## Anexo B-XXVIII



## Anexo B-XXIX

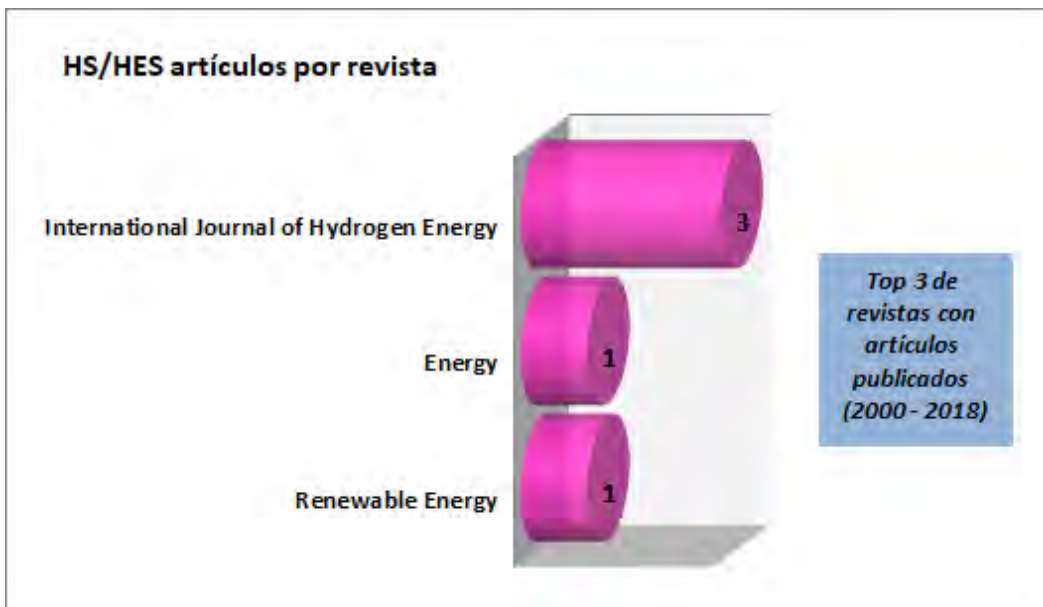


## Anexo B-XXX

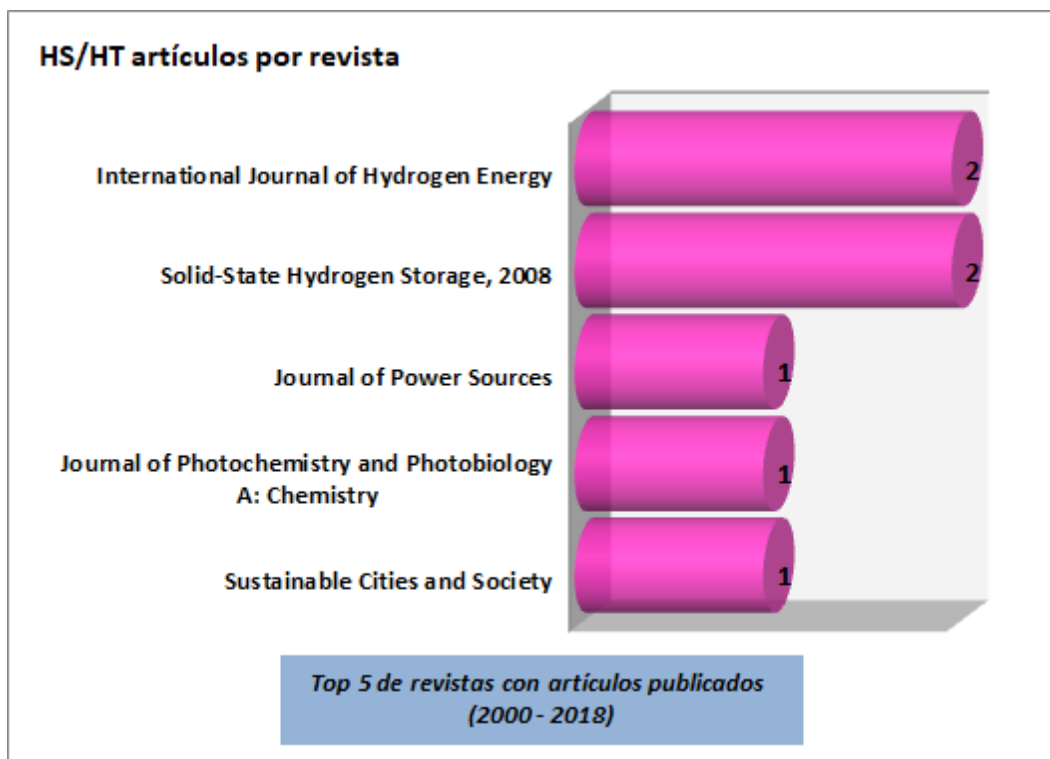




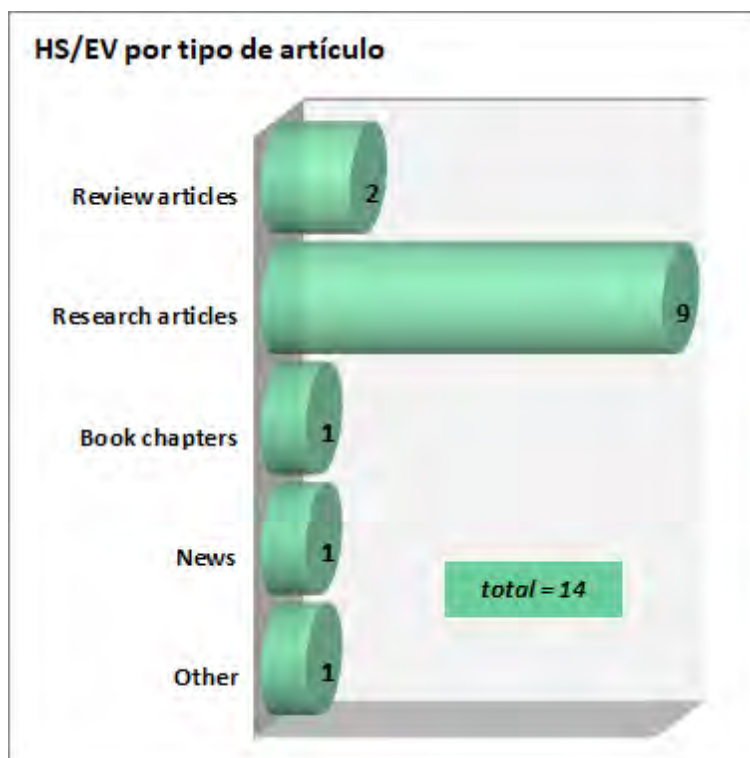
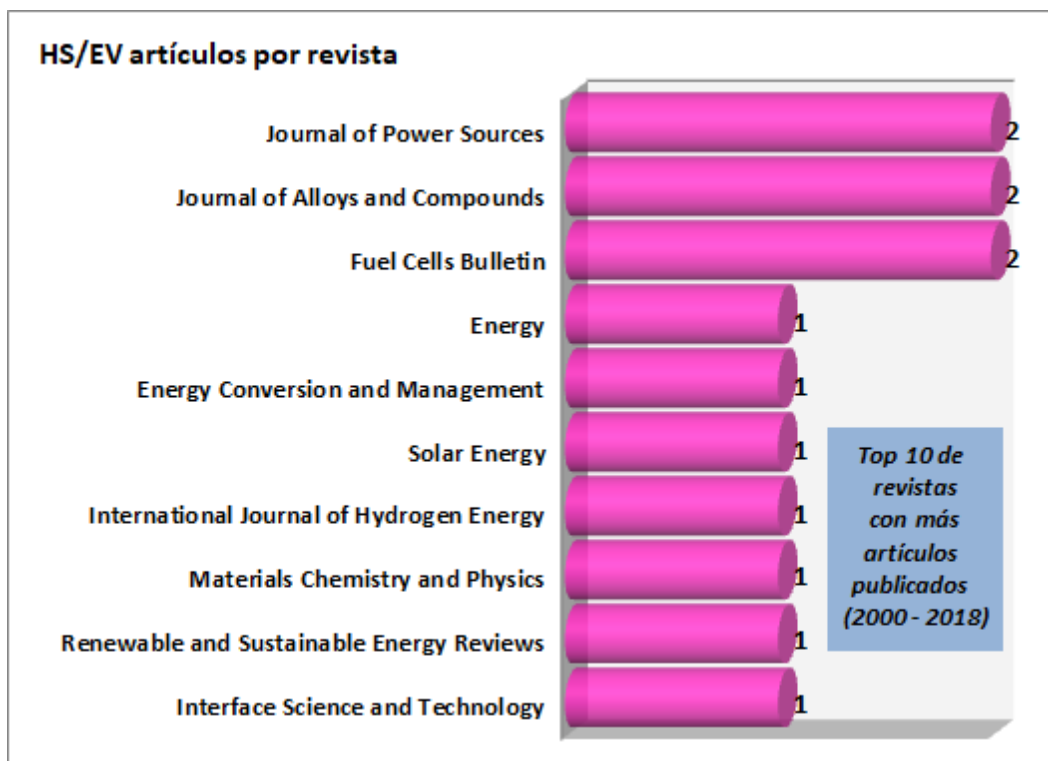
Anexo B-XXXI



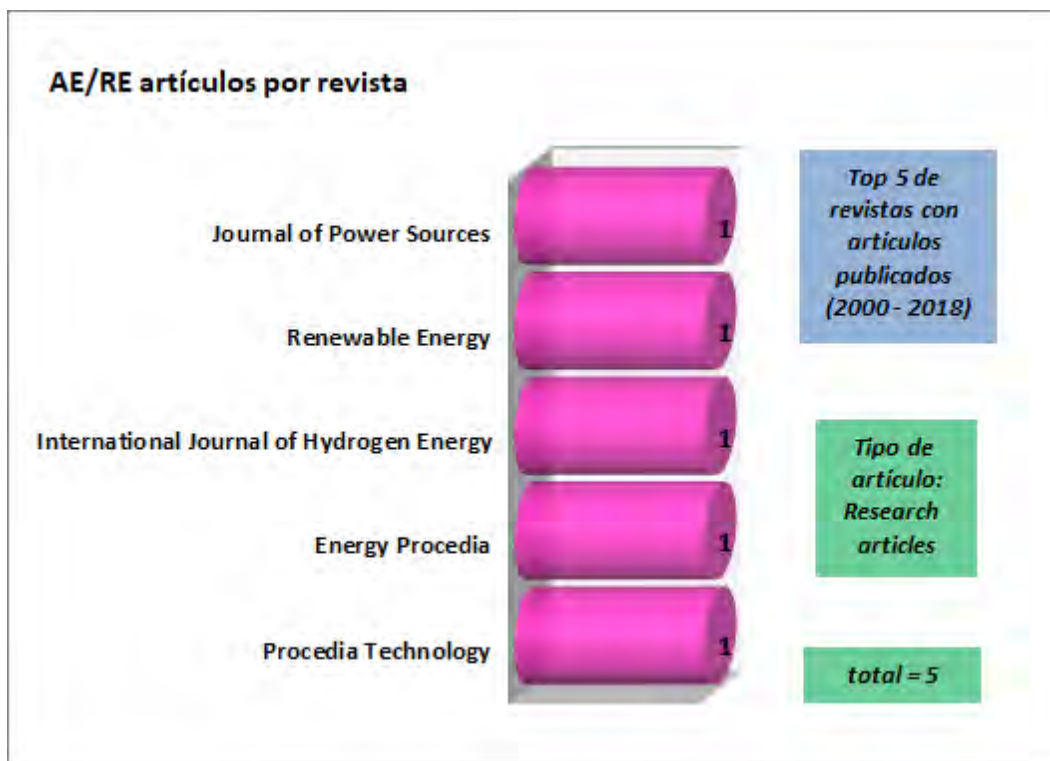
## Anexo B-XXXII



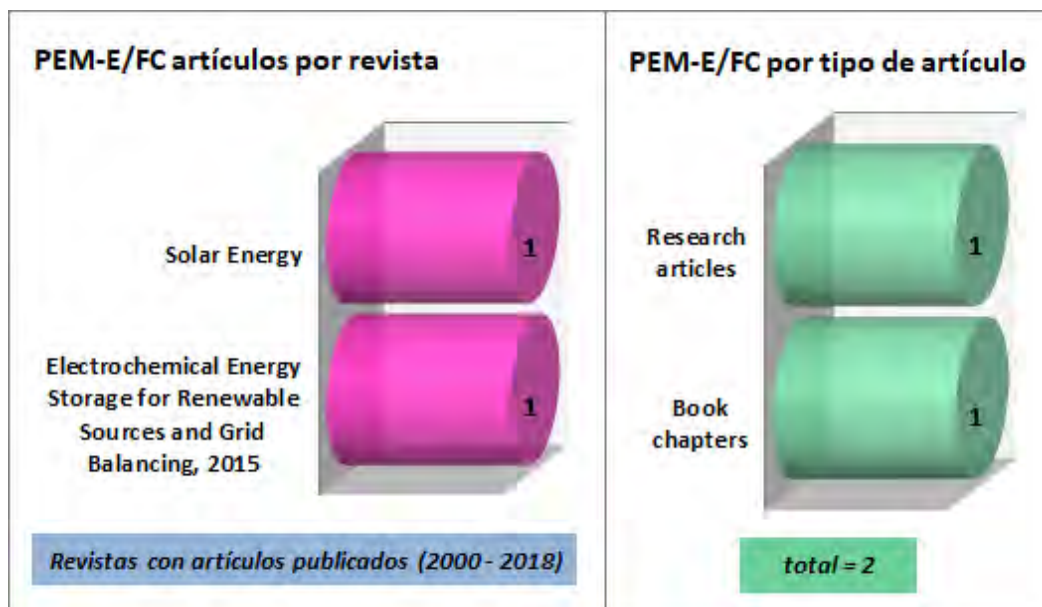
## Anexo B-XXXIII



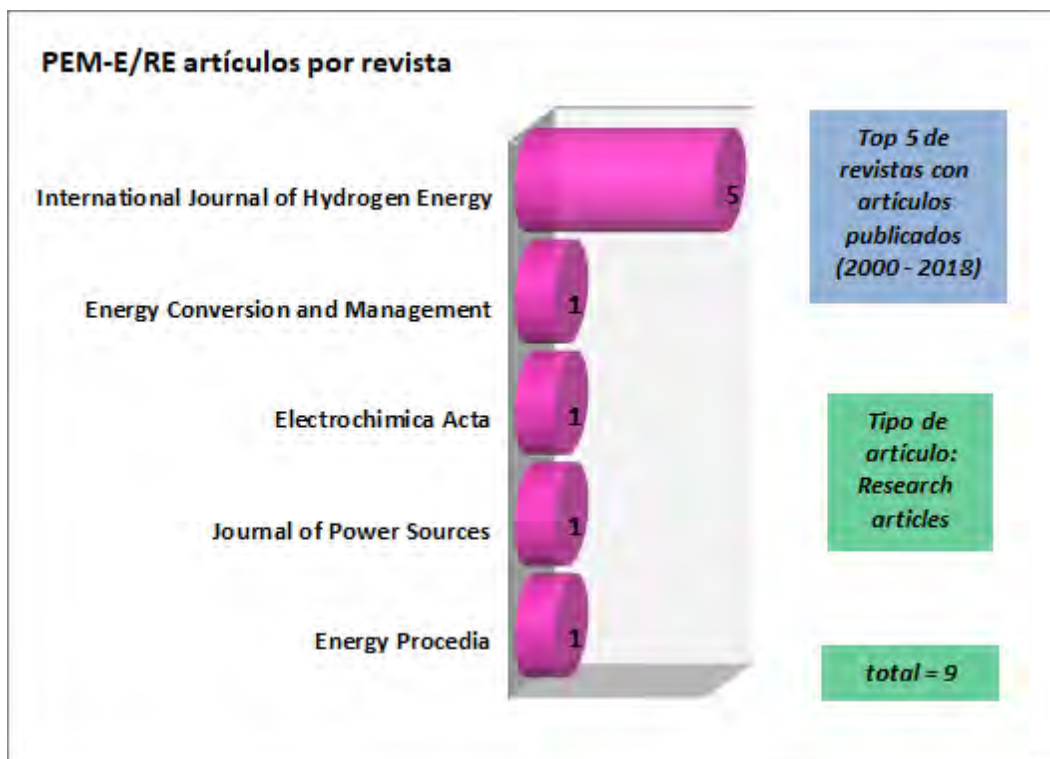
## Anexo B-XXXIV



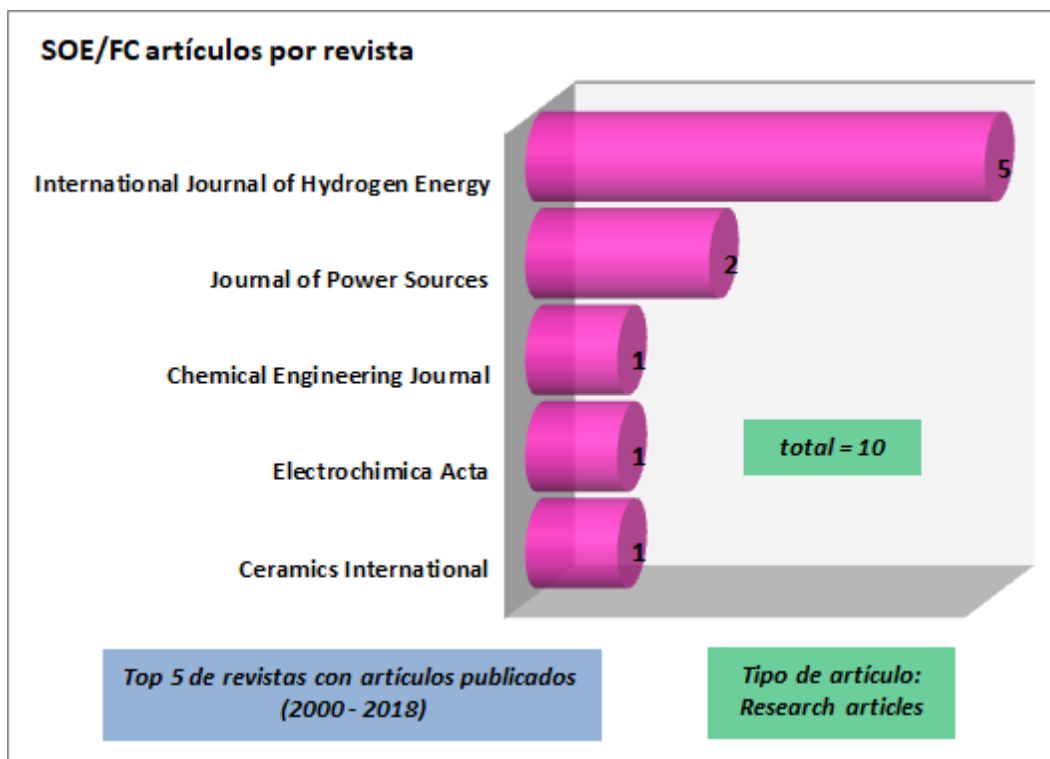
## Anexo B-XXXV



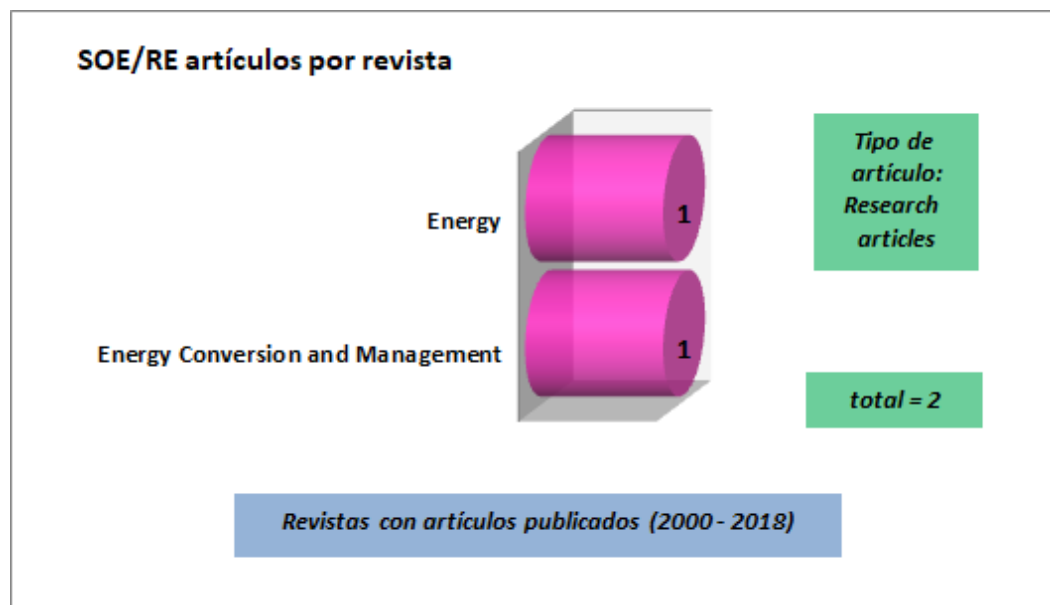
## Anexo B-XXXVI



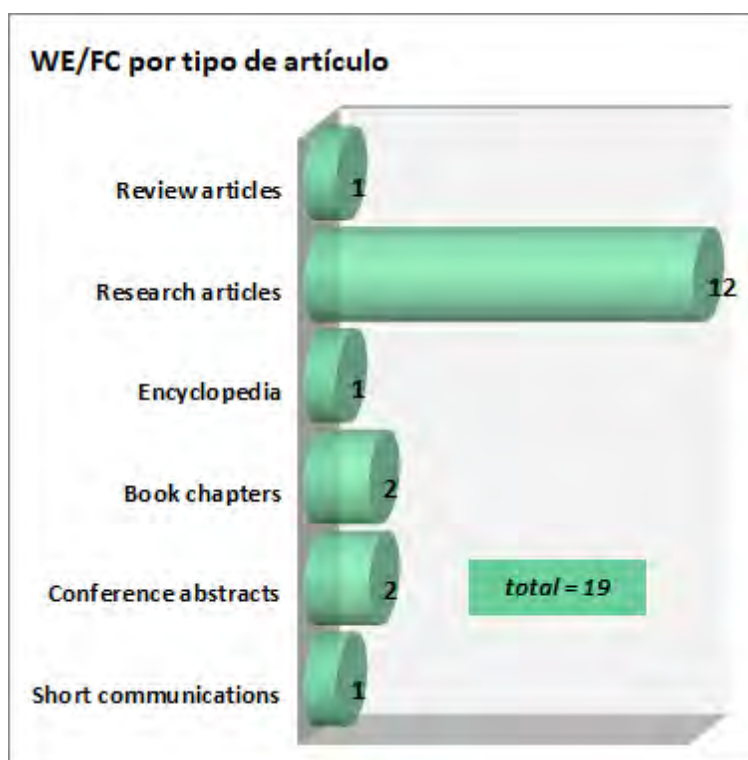
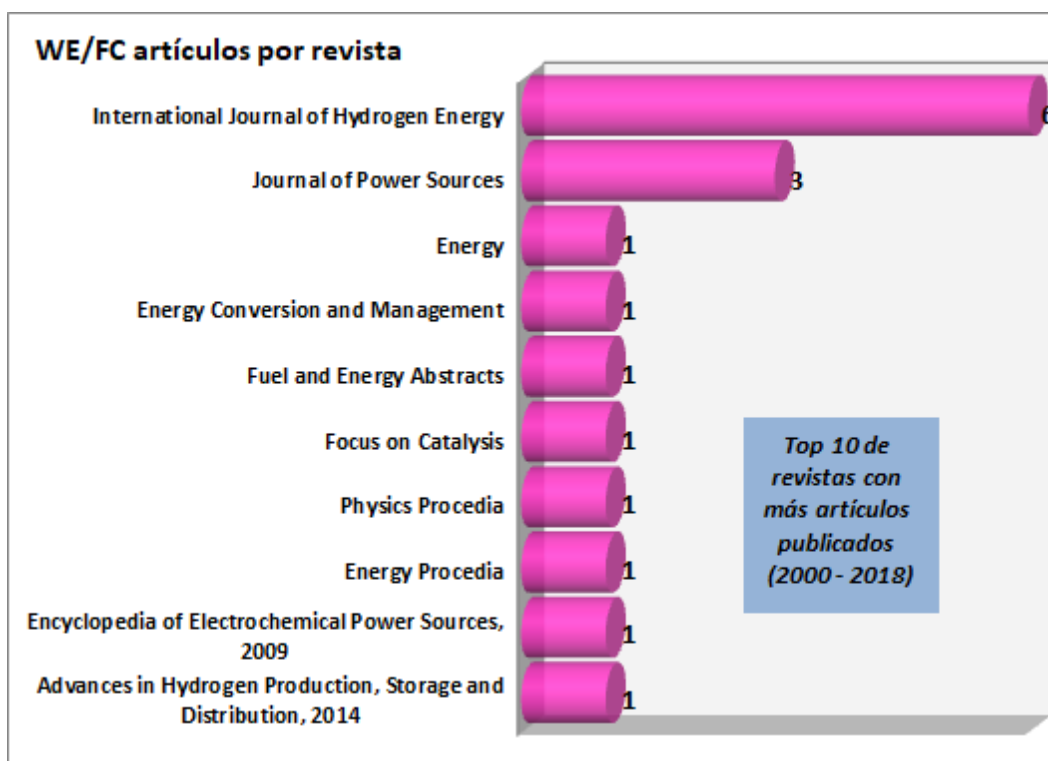
## Anexo B-XXXVII



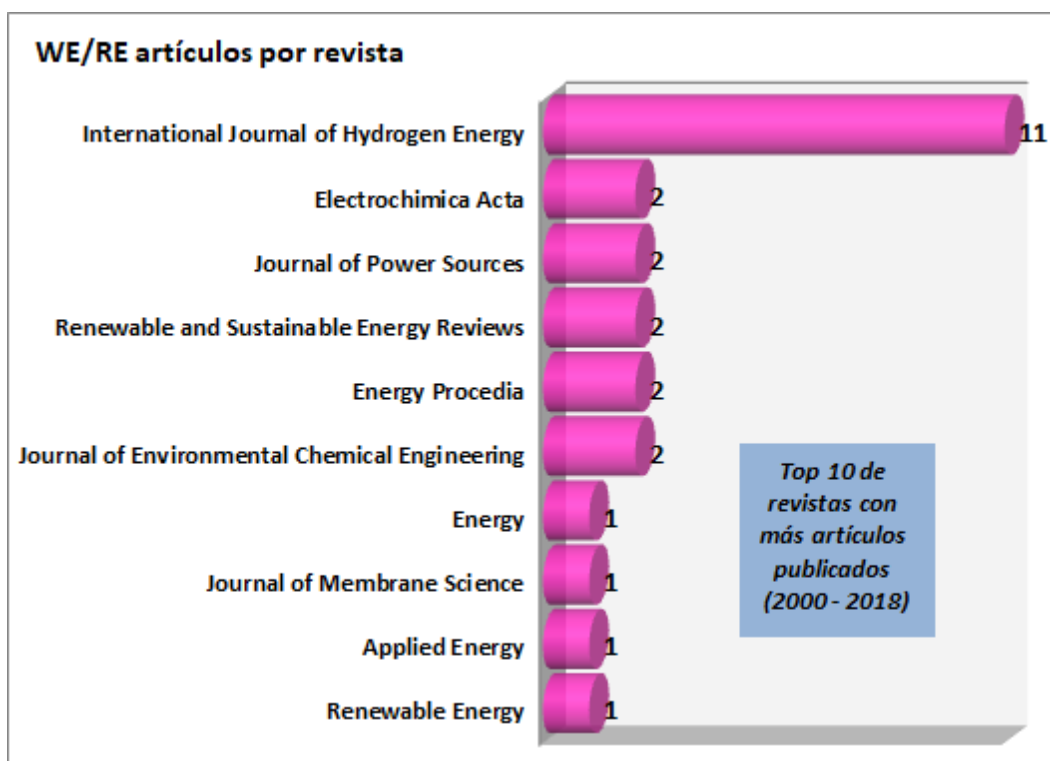
## Anexo B-XXXVIII



## Anexo B-XXXIX

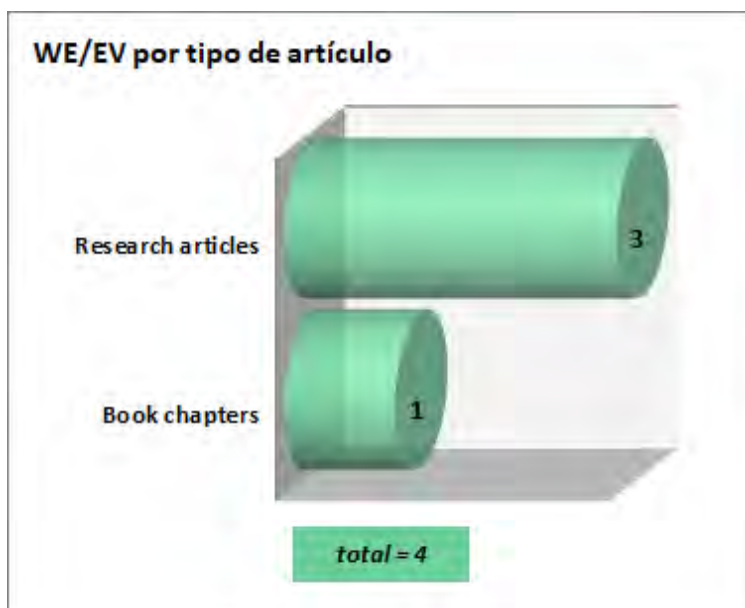
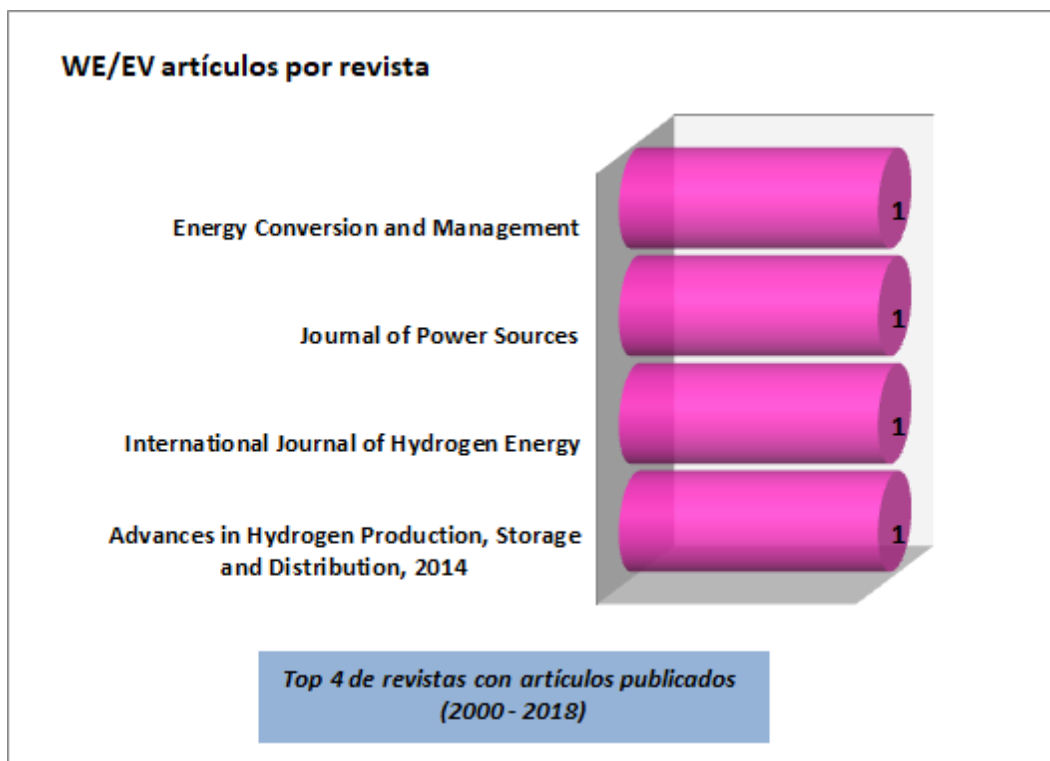


## Anexo B-XL

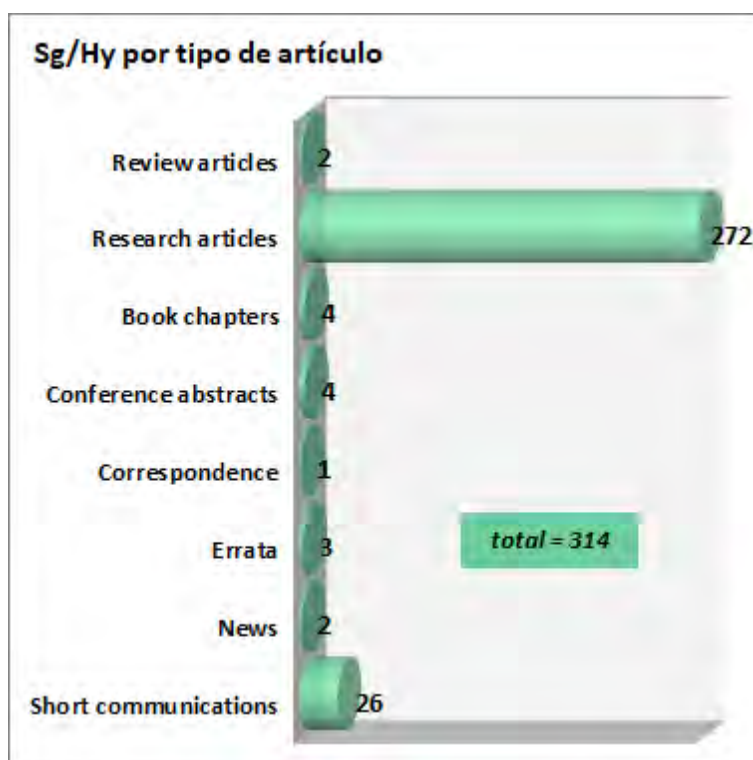
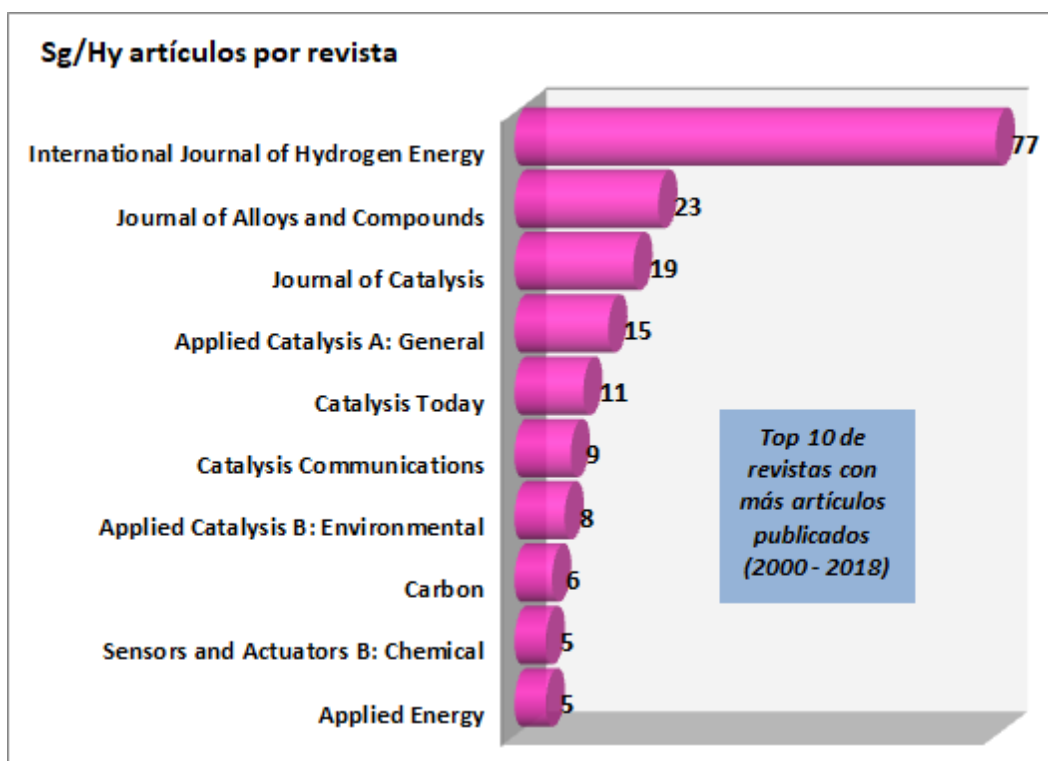




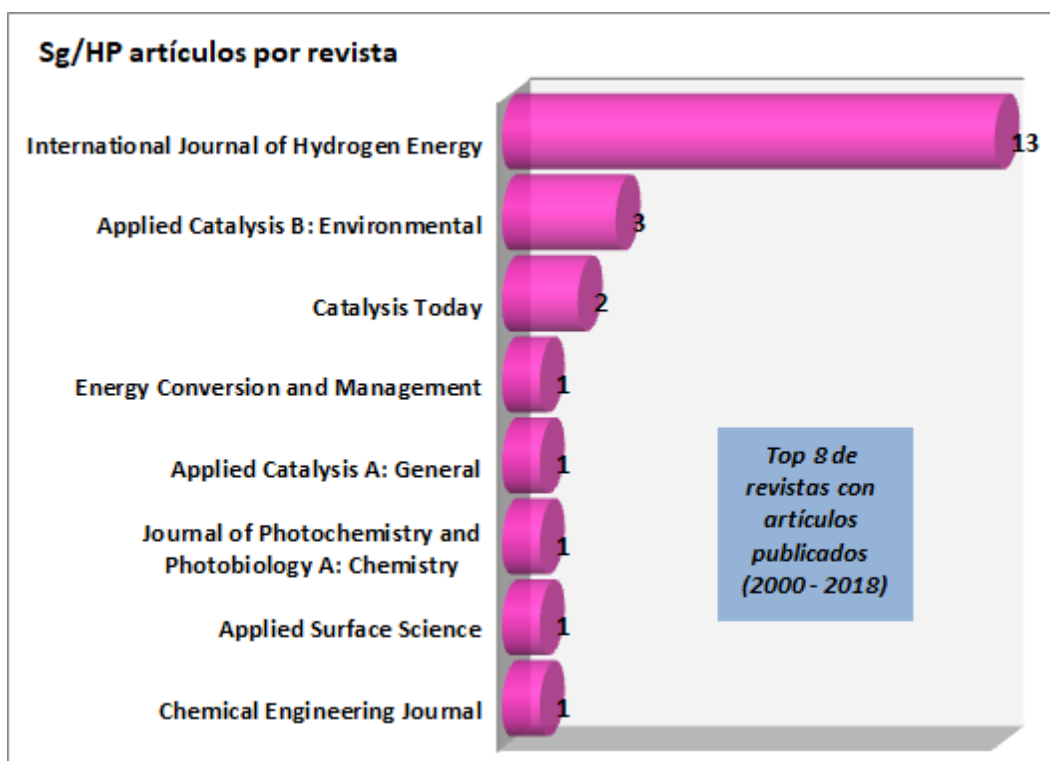
## Anexo B-XLI



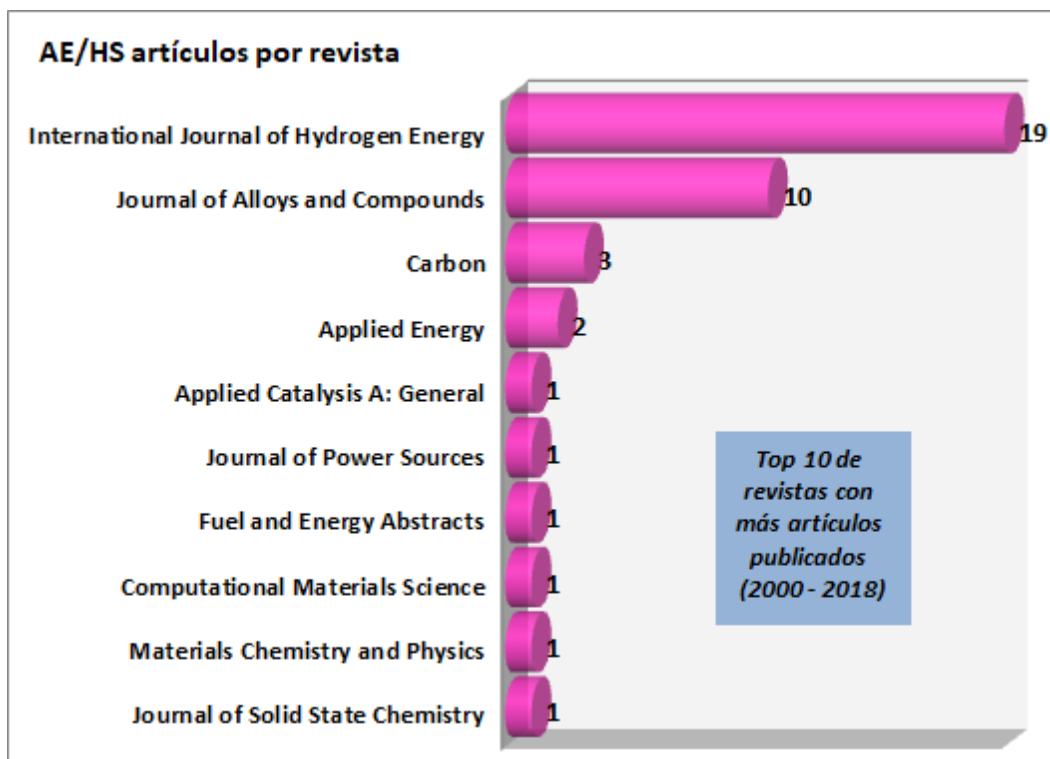
## Anexo C-XLII



## Anexo C-XLIV



## Anexo C-XLV



## **Anexo D**

### **Tipo de artículo:**

Review articles

Research articles

Encyclopedia

Book chapters

Conference abstracts

Book reviews

Case reports

Correspondence

Data articles

Discussion

Editorials

Errata

Examinations

Mini reviews

News

Patent reports

Product reviews

Short communications

Other

## **Anexo E**

### **Título de revista (en orden alfabético):**

Acta Astronautica

Advances in Hydrogen Production, Storage and Distribution, 2014

Applied Catalysis A: General

Applied Catalysis B: Environmental

Applied Energy

Applied Surface Science

Biomass and Bioenergy

Bioresour. Technology

Carbon

Catalysis Communications

Catalysis Today

Ceramics International

Chemical Engineering Journal

Chemical Engineering Science

Chemical Physics Letters

Computational Materials Science

Computer Aided Chemical Engineering

Computers & Chemical Engineering

Cryogenics

Current Opinion in Chemical Engineering

Desalination

Education for Chemical Engineers

Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, 2009

Energy

Energy and Buildings

Energy Conversion and Management

Energy Procedia

Energy Policy

Engineering Failure Analysis

Environmental Solutions, 2005

Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, 2015

Electrochemistry Communications

Electrochimica Acta

Fluid Phase Equilibria

Focus on Catalysis

Fuel

Fuel and Energy Abstracts

Fuel Cells Bulletin

Hydrogen Economy, 2017

IERI Procedia

International Journal of Heat and Mass Transfer

International Journal of Hydrogen Energy

## **Anexo E**

### **Continuación:**

Interface Science and Technology  
Journal of Alloys and Compounds  
Journal of Catalysis  
Journal of Cleaner Production  
Journal of Colloid and Interface Science  
Journal of Electroanalytical Chemistry  
Journal of Electrochemical Chemistry  
Journal of Environmental Chemical  
Journal of Industrial and Engineering Chemistry  
Journal of the European Ceramic Society  
Journal of Membrane Science  
Journal of Molecular Catalysis A: Chemical  
Journal of Molecular Science  
Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry  
Journal of Power Sources  
Journal of Rare Earths  
Journal of Solid State Chemistry  
Matter  
Materials Chemistry and Physics  
Microporous and Mesoporous Materials  
Nano Energy  
Progress in Energy and Combustion Science  
Procedia Materials Science  
Procedia Technology  
Physics Procedia  
Renewable and Sustainable Energy Reviews  
Renewable Energy  
Renewable Hydrogen Technologies, 2013  
Sensors and Actuators B: Chemical  
Solar Energy  
Solid State Ionics  
Solid-State Hydrogen Storage, 2008  
Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy  
Surface Science  
Sustainable Cities and Society  
Sustainable Hydrogen Production, 2017  
Water Research

## Anexo F

**Tabla F. Síntesis de búsqueda de Estudios A, B y C, y análisis de datos relevantes:**

ScienceDirect (búsqueda avanzada)			Nomenclatura	Número de Anexo	Total de artículos	Artículos del 2010 al 2018	t%		
Title, abstract or keywords	Title	Year							
	Hy	2	Hy	A-I	54665	33620	61.50		
	HE	0	HE	A-II	624	348	55.77		
	HP	0	HP	A-III	5584	4293	76.88		
	HS	0	HS	A-IV	3550	2307	64.99		
	AE	/	AE	A-V	16	15	93.75		
	PEM-E	2	PEM-E	A-VI	38	31	81.58		
	SOE	0	SOE	A-VII	45	41	91.11		
	WE	1	WE	A-VII	341	280	82.11		
HP	HE	8	HE/HP	A-IX	92	48	52.17		
HS			HE/HS	A-X	56	42	75.00		
AE			HE/AE	-	1	0	0.00		
PEM-E			HE/PEM-E	-	1	1	100.00		
WE			HE/WE	A-XIII	16	13	81.25		
FC			Hy		Hy/FC	B-XIV	3531	2276	64.46
RE					Hy/RE	B-XV	955	738	77.28
HES					Hy/HES	B-XVI	36	30	83.33
HT	Hy/HT	B-XVII			234	153	65.38		
EV	Hy/EV	B-XVIII			257	228	88.72		
FC	HE				HE/FC	B-XIX	128	87	67.97
RE					HE/RE	B-XX	63	46	73.02
HES					HE/HES	B-XXI	6	6	100.00
HT			HE/HT	B-XXII	21	11	52.38		
EV			HE/EV	B-XXIII	10	9	90.00		
FC			HP		HP/FC	B-XXIV	461	308	66.81
RE	HP/RE	B-XXV			208	176	84.62		
HES	HP/HES	B-XXVI			3	3	100.00		
HT	HP/HT	B-XXVII			15	15	100.00		
EV	HP/EV	B-XXVIII			7	5	71.43		
FC	HS				HS/FC	B-XXIX	275	175	63.64
RE			HS/RE	B-XXX	76	55	72.37		
HES			HS/HES	B-XXXI	5	4	80.00		
HT			HS/HT	B-XXXII	7	3	42.86		
EV			HS/EV	B-XXXIII	14	10	71.43		
RE			AE	AE/RE	B-XXXIV	5	4	80.00	
FC	PEM-E		PEM-E/FC	B-XXXV	2	1	50.00		
RE			PEM-E/RE	B-XXXVI	9	7	77.78		
FC	SOE		SOE/FC	B-XXXVII	10	7	70.00		
RE			SOE/RE	B-XXXVIII	2	2	100.00		
FC	WE		WE/FC	B-XXXIX	19	16	84.21		
RE			WE/RE	B-XL	35	33	94.29		
EV			WE/EV	B-XLI	4	3	75.00		



## Anexo F

### Continuación:

ScienceDirect (búsqueda avanzada)			Nomenclatura	Número de Anexo	Total de artículos	Artículos del 2010 al 2018	t%
Title, abstract or keywords	Title	Year					
Hy	Sg	2000	Sg/Hy	C-XLII	314	204	64.97
HE		/	Sg/HE	-	1	1	100.00
HP		2018	Sg/HP	C-XLIV	23	20	86.96
HS			Sg/HS	C-XLV	42	25	59.52

t% = representación porcentual de los artículos del 2010 al 2018 tomando como referencia de cien por porciento (100%) el total de artículos del 2000 al 2018 por cada Estudio.

60 % o menos	t% igual a 60 o menos
61 - 70 %	t% entre 61 y 70
71 - 80 %	t% entre 71 y 80
81 - 90 %	t% entre 81 y 90
91 - 100 %	t% entre 91 y 100

Total.art	<b>71809</b>
T2010.art	<b>45700</b>
T%.art	<b>63.64</b>
t%.prom	<b>74.99</b>

Total.art = suma total de artículos.

T2010.art = suma total de artículos del 2000 al 2018.

T%.art = representación porcentual de T2010.art tomando como referencia de cien por porciento (100%) el Total.art.

t%.prom = promedio de todos los t%.

Top 10 de revistas con más artículos en todos los Estudios.

Título de revista	No. aportes	% del total
<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	17,633	24.56
<i>Journal of Alloys and Compounds</i>	2,655	3.70
<i>Fuel Cells Bulletin</i>	2,323	3.23
<i>Journal of Power Sources</i>	1,731	2.41
<i>Applied Catalysis A: General</i>	1,261	1.76
<i>Catalysis Today</i>	1,150	1.60
<i>Electrochimica Acta</i>	983	1.37
<i>Journal of Catalysis</i>	908	1.26
<i>Chemical Physics Letters</i>	877	1.22
<i>Journal of Molecular Catalysis A: Chemical</i>	860	1.20

## Anexo G

### Nomenclatura:

Hy	Hidrogeno
HE	Energía del Hidrogeno
HP	Producción de Hidrogeno
HS	Almacenamiento de Hidrogeno
AE	Electrolizador Alcalino
PEM-E	Electrolizador PEM
SOE	Electrolizador de Óxido Sólido
WE	Electrolisis del Agua
HE/HP	Energía del Hidrogeno / Producción de Hidrogeno
HE/HS	Energía del Hidrogeno / Almacenamiento de Hidrogeno
HE/AE	Energía del Hidrogeno / Electrolizador Alcalino
HE/PEM-E	Energía del Hidrogeno / Electrolizador PEM
HE/WE	Energía del Hidrogeno / Electrolisis del Agua
Hy/FC	Hidrogeno / Celda de Combustible
Hy/RE	Hidrogeno / Energía Renovable
Hy/HES	Hidrogeno / Sistemas de Energía Híbridos
Hy/HT	Hidrogeno / Tecnología del Hidrógeno
Hy/EV	Hidrogeno / Vehículo Eléctrico
HE/FC	Energía del Hidrogeno / Celda de Combustible
HE/RE	Energía del Hidrogeno / Energía Renovable
HE/HES	Energía del Hidrogeno / Sistemas de Energía Híbridos
HE/HT	Energía del Hidrogeno / Tecnología del Hidrógeno
HE/EV	Energía del Hidrogeno / Vehículo Eléctrico
HP/FC	Producción de Hidrogeno / Celda de Combustible
HP/RE	Producción de Hidrogeno / Energía Renovable
HP/HES	Producción de Hidrogeno / Sistemas de Energía Híbridos
HP/HT	Producción de Hidrogeno / Tecnología del Hidrógeno
HP/EV	Producción de Hidrogeno / Vehículo Eléctrico
HS/FC	Almacenamiento de Hidrogeno / Celda de Combustible
HS/RE	Almacenamiento de Hidrogeno / Energía Renovable
HS/HES	Almacenamiento de Hidrogeno / Sistemas de Energía Híbridos
HS/HT	Almacenamiento de Hidrogeno / Tecnología del Hidrógeno
HS/EV	Almacenamiento de Hidrogeno / Vehículo Eléctrico
AE/RE	Electrolizador Alcalino / Energía Renovable
PEM-E/FC	Electrolizador PEM / Celda de Combustible
PEM-E/RE	Electrolizador PEM / Energía Renovable
SOE/FC	Electrolizador de Óxido Sólido / Celda de Combustible
SOE/RE	Electrolizador de Óxido Sólido / Energía Renovable
WE/FC	Electrolisis del Agua / Celda de Combustible
WE/RE	Electrolisis del Agua / Energía Renovable
WE/EV	Electrolisis del Agua / Vehículo Eléctrico
Sg/Hy	Dimensionamiento / Hidrogeno
Sg/HE	Dimensionamiento / Energía del Hidrogeno
Sg/HP	Dimensionamiento / Producción de Hidrogeno
Sg/HS	Dimensionamiento / Almacenamiento de Hidrogeno

## Anexo H

Tabla H. Síntesis de los estudios de caso de E.L.V. Eriksson y E. MacA. Gray [12].

Case studies of HRES with focus on integration and optimization methods.						
Parameters optimized	Grid/Stand Alone	Bus (AC/DC)	Main objectives	Method	Software tool	Description
PV, wind	GRID	AC	Economic	BB-BC	MATLAB	Big Bang (BB) Big Crush (BC) Algorithm integrate the diagonal band Copula and sequential Monte Carlo method to consider RES for minimizing of energy loss in unbalanced distribution systems
PV, electrolyser, <b>hydrogen</b> , <b>fuel cell</b>	GRID	AC	Self-sufficiency, Carbon foot print, thermodynamic	N/A	MATLAB	Thermodynamic evaluation and carbon footprint analysis of the application of hydrogen-based energy storage systems in residential buildings
PV, wind, battery	STAND ALONE	AC	Economic, System reliability, cost	ARMA MCS	Unknown	Stochastic framework using Autoregressive Moving Average (ARMA) and Search Based Monte Carlo Simulation (SMCS) for optimal sizing and reliability analysis
PV, wind, battery	STAND ALONE	AC	Techno-Economic battery SOC, Total annual cost	AI - HS, SA	MATLAB	Harmony search based simulated annealing algorithm for optimal sizing of integrated system
PV, wind, battery	STAND ALONE	AC	Economic LCC reliability	PSO	MATLAB	Carried out comparisons with discrete HS and discrete HSSA
PV, wind, battery	GRID	AC	Economic, Total system cost	SA, BAT	MATLAB	PSO used to find the optimal value of batteries and area of PV panels using PSO
PV, wind, battery, diesel generator,	STAND ALONE	AC	Economic	GA	HOMER	New Bat algorithm which is a cost based formulation for optimal size of RES for micro grid, charge/discharge efficiency of battery, operating service and load demand satisfaction
PV, wind, battery	STAND ALONE	AC	Techno-economic, Cost and reliability LPSP	Iterative	HYBRID2	RES study using HOMER
PV, wind, battery, electrolyser, <b>hydrogen</b> , <b>fuel cell</b>	STAND ALONE	DC	Techno-economic	GA	HOMER HOGA	Sizing method of standalone RES based on techno-economic analysis and Object Oriented Programming. New software is developed
PV, wind, battery	STAND ALONE	DC	Economic Annual cost	Iterative	Unknown	Comparison of sizing methods for different RES
PV, wind	STAND ALONE	AC	Economic Cost, LPSP	Iterative	HOMER	Sizing of RES based on generic determinist technique
PV, wind	STAND ALONE	DC	Economic Cost, reliability	SA	MATLAB iHOGA	Mathematical model in MATLAB with different configuration of performance to analyse RES
PV, wind	STAND ALONE	DC	Economic Power loss, stability	PSO weighted aggregation	MATLAB	Optimal sizing of RES using iHOGA
PV, wind	STAND ALONE	AC	Economic Total design cost	ACO	MATLAB	Optimal sizing study for installation of distributed generation systems
PV, wind, battery	GSC	DC	Economic COE	BBO	MATLAB	Ant Colony Optimization (ACO) based integer programming technique is explored
PV, wind, diesel generator	STAND ALONE	AC	Economic Net present cost, initial capital cost, cost of energy	GA	MATLAB	Biographic Based Algorithm (BBO) analysis for forecasting weather data with ANN optimization
PV, wind, battery, diesel generator	STAND ALONE	DC	Economic Total Energy Deficit TNPC Economic	Iterative	HOMER	Techno economic feasibility for RES
					MATLAB	Model which takes into account hybrid system models

## Anexo H

### Continuación:

Case studies of HRES with focus on integration and optimization methods.						
Parameters optimized	Grid/Stand Alone	Bus (AC/DC)	Main objectives	Method	Software tool	Description
PV, wind, battery, diesel generator	STAND ALONE	DC	Economic	GA	HOMER	Off grid PV-wind-biomass energy system was most cost effective with high emission reductions
PV, wind, battery	STAND ALONE	DC	Techno-economic Reliability, economic NPC economic	SA	HOMER	Techno-economic study of hybrid system incorporating sensitivity analysis
Hydro, PV, wind	STAND ALONE	AC	Techno-economic System reliability, LPSP	GA	Unknown	Optimise a RES pumped hydro storage system configured under 0 LPSP
PV, wind	GRID	AC	Techno economic Reliability LCOE	Analytical	MATLAB	A model for investigating water efficient optimization of RES
PV, wind, electrolyser, hydrogen, fuel cell	STAND ALONE	DC	Economic Total annual cost LPSP	ABSO	MATLAB	Model using metaheuristic algorithm Artificial Bee Swarm Optimization (ABSO) for optimizing RES based on LPSP
PV, wind, electrolyser, hydrogen, fuel cell, battery	STAND ALONE	DC	Economic CRF	PSO TS HS SA	MATLAB	Investigation of different AI techniques using PSO, TS, HS, SA to satisfy the load
PV, electrolyser, hydrogen, fuel cell, battery	STAND ALONE	DC	Technical, Safety, reliability, efficiency	N/A	N/A	Demonstration project with a general objective to test weak points from the operating experience
PV, wind, battery	STAND ALONE	AC	Techno-economic Cost and reliability LPSP	Iterative	MATLAB	Methodology for sizing and simulation an autonomous system using simulation tools and linear programming
PV, wind, battery	GRID	AC	Economic EENS	NSGA-II	Unknown	Improved NSGA-II algorithm for IEEE 33 bus test case and a real implementation of State Grid Corporation and Expectation of Energy Not Supplied (EENS)
PV, fuel cell, hydrogen	STAND ALONE	AC	Techno-economic	GA	HOMER	Deploys a hydrogen buffer tank which eliminates the use of energy from the fuel cell or battery bank to power the compressor as the compressor is only run when sufficient excess energy is available
PV, wind, battery	STAND ALONE	DC	Economic	GA	MATLAB	Differential flatness response in PV-wind systems
PV, wind, battery	GRID	AC	Economic Total system cost	EGSA	Unknown	Rain flow calculation Enhanced Gravitational Search Algorithm (EGSA) is used to establish battery life cycle model and life expectancy cost
PV, wind, battery	STAND ALONE	DC	Economic	ESCA	Unknown	Electricity System Cascade Analysis (ESCA) is developed for the optimization of RES
Battery, PV wind, generator	STAND ALONE	DC	Techno-Economic Life cycle cost, RES penetration and airborne pollutants	GA	HOMER	Unit sizing method is explored for standalone micro grids with practical system and component life-cycle considerations

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E.L.V. Eriksson y E.MacA. Gray, «*Optimization and integration of hybrid renewable energy hydrogen fuel cell energy systems – A critical review,*» *Applied Energy* 202 (2017) 348–364.
- [2] Grez, Brinkman, «*Economics and Environmental Effects of Hydrogen Production Methods,*» University of Maryland, School of Public Policy 2003.
- [3] Kirk-Othmer, «*Hydrogen, in Encyclopedia of Chemical Technology,*» 4ta edición, Vol. 13: Helium Group to Hypnotics, John Wiley & Sons, New York 1995.
- [4] F.J. Vivas, A. De las Heras, F. Segura y J.M. Andújar, «*A review of energy management strategies for renewable hybrid energy systems with hydrogen backup,*» *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (2018) 126–155.
- [5] *ScienceDirect*, «*International Journal of Hydrogen Energy*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-hydrogen-energy>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].
- [6] *ScienceDirect*, «*Journal of Alloys and Compounds*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-alloys-and-compounds>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].
- [7] *ScienceDirect*, «*Fuel Cells Bulletin*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/fuel-cells-bulletin>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].
- [8] *ScienceDirect*, «*Journal of Power Sources*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-power-sources>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].
- [9] *ScienceDirect*, «*Applied Catalysis A: General*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-catalysis-a-general>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].
- [10] *ScienceDirect*, «*Catalysis Today*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/catalysis-today>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].
- [11] *ScienceDirect*, «*Electrochimica Acta*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/electrochimica-acta>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].
- [12] *ScienceDirect*, «*Journal of Catalysis*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-catalysis>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].

[13] *ScienceDirect*, «*Chemical Physics Letters*» [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/journal/chemical-physics-letters>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].

[14] *elsevier*, «*Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*» [En línea]. Disponible: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-molecular-catalysis-a-chemical>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].

[15] Ling Ai Wong, Vigna K. Ramachandaramurthy, Phil Taylor, J.B. Ekanayake, Sara L. Walke y Sanjeevikumar Padmanaban, «*Review on the optimal placement, sizing and control of an energy storage system in the distribution network,*» *Journal of Energy Storage* 21 (2019) 489–504.

[16] Kamal Anoune, Mohsine Bouya, Abdelali Astito y Abdellatif Ben Abdellah, «*Sizing methods and optimization techniques for PV-wind based hybrid renewable energy system: A review,*» *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93 (2018) 652–673.

[17] IEA Energy Technology Essentials, «*Hydrogen Production & Distribution,*» IEA Energy Technology Essentials, ETE 05, April 2007.

[18] *ScienceDirect*, [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/>. [Último acceso: 2019 Octubre 25].