



**Universidad de Jaén**

*Escuela Politécnica Superior de Jaén*

# PERSPECTIVAS DEL HIDRÓGENO VERDE EN ESPAÑA: UN ANÁLISIS A TRAVÉS DEL MÉTODO DELPHI

Autor: José Antonio Marín Martínez

Grado: Ingeniería de Organización Industrial

Director: Prof. D. Manuel Aranda Ogáyar  
Departamento del director: Administración de Empresas, Contabilidad y Sociología

Fecha: 03/07/2024

Licencia CC



CREEA



Universidad de Jaén  
Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Informática

Don Manuel Aranda Ogayar, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: Perspectivas del Hidrógeno Verde en España: Un Análisis a través del Método Delphi, que presenta José Antonio Marín Martínez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Julio de 2024

El alumno:

JOSÉ ANTONIO MARÍN MARTÍNEZ

El tutor:

MANUEL ARANDA OGÁYAR

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Cambio climático y calentamiento global .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. ¿Qué es el hidrógeno? .....</b>	<b>9</b>
2.2.1. Propiedades .....	9
2.2.2. Colores del hidrógeno .....	10
<b>2.3. ¿Cómo puede el hidrógeno verde ayudar a combatir el calentamiento global? .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4. El hidrógeno en Europa y España.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5. Cadena de valor .....</b>	<b>16</b>
2.5.1. Producción.....	16
2.5.2. Acondicionamiento y almacenamiento .....	19
2.5.3. Transporte y distribución .....	22
2.5.4. Usos finales .....	23
<b>3. ANÁLISIS ESTRATÉGICO .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1. Análisis PESTEL.....</b>	<b>25</b>
3.1.1. Factores políticos .....	25
3.1.2. Factores económicos .....	26
3.1.3. Factores sociales .....	26
3.1.4. Factores tecnológicos .....	27
3.1.5. Factores ambientales .....	27
3.1.6. Factores legales .....	27
<b>3.2. Análisis DAFO.....</b>	<b>28</b>
3.2.1. Fortalezas.....	28
3.2.2. Debilidades.....	28
3.2.3. Oportunidades .....	28
3.2.4. Amenazas.....	29
<b>4. EL MÉTODO DELPHI.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Introducción .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Las técnicas de previsión.....</b>	<b>30</b>
4.2.1. Técnicas de previsión objetivas y sus limitaciones.....	30
4.2.2. Técnicas de previsión subjetivas y sus limitaciones .....	33
<b>4.3. Fundamentos del Método Delphi.....</b>	<b>35</b>
4.3.1. Definición.....	35
4.3.2. Origen y evolución.....	35
4.3.3. Características .....	37
4.3.4. Premisas y postulados .....	38
<b>4.4. Metodología.....</b>	<b>39</b>
4.4.1. Proceso .....	39
4.4.2. Grupo coordinador .....	40
4.4.3. Grupo de expertos.....	41
4.4.3.1. Definición y criterios de selección .....	41

4.4.3.2.	Número de expertos .....	42
4.4.3.3.	Contacto con los expertos .....	43
4.4.3.4.	Evaluación de la pericia de los expertos .....	43
4.4.4.	Obtención y transmisión de la información .....	44
4.4.4.1.	Formulación de preguntas .....	44
4.4.4.2.	Integración de opiniones individuales .....	47
4.4.4.3.	Feedback .....	47
4.4.5.	Fin del proceso .....	49
4.4.5.1.	Criterios para la finalización del proceso iterativo .....	49
4.4.5.2.	Análisis de los resultados .....	53
4.4.5.3.	Valoración de la calidad de los resultados .....	54
4.4.5.4.	Información y comunicación de los resultados .....	55
<b>5.</b>	<b><i>APLICACIÓN PRACTICA DEL MÉTODO DELPHI</i></b> .....	<b>56</b>
<b>5.1.</b>	<b>Características</b> .....	<b>56</b>
<b>5.2.</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>57</b>
5.2.1.	Proceso .....	57
5.2.2.	Grupo coordinador .....	57
5.2.3.	Grupo de expertos .....	58
5.2.3.1.	¿Quién es considerado como experto? .....	58
5.2.3.2.	Número óptimo de expertos .....	58
5.2.3.3.	Contacto con los expertos .....	59
5.2.3.4.	Evaluación del conocimiento de los expertos .....	60
5.2.4.	Obtención y transmisión de la información .....	61
5.2.4.1.	Formulación de las preguntas .....	61
5.2.4.2.	Análisis estadístico de las respuestas al cuestionario: integración de las opiniones .....	65
5.2.4.3.	Primera ronda .....	67
5.2.4.4.	Feedback .....	101
5.2.4.5.	Segunda ronda .....	101
<b>6.</b>	<b><i>ANÁLISIS FINAL DE LAS RESPUESTAS</i></b> .....	<b>134</b>
<b>7.</b>	<b><i>CONCLUSIÓN</i></b> .....	<b>150</b>
<b>8.</b>	<b><i>BIBLIOGRAFÍA</i></b> .....	<b>153</b>

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Nivel promedio de dióxido de carbono en la atmósfera entre 1959 y 2023 (en partes por millón). Fuente: Statica.....	7
Ilustración 2: Variación anual en la temperatura de la superficie terrestre y oceánica a nivel mundial entre 1880 y 2023. Fuente NOAA.....	8
Ilustración 3: Comparación de la energía por unidad de masa y la energía por unidad de volumen de varios combustibles en base a su poder calorífico inferior. Fuente: Net-zero emissions energy systems.....	9
Ilustración 4: Producción de hidrógeno por tecnologías. Fuente: IEA.....	11
Ilustración 5: Etapas de la cadena de valor del hidrógeno. Fuente: MITECO.....	16
Ilustración 6: Formas de transporte de H2. Fuente: MITECO .....	22

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Variación del coeficiente de variación .....	51
Ecuación 2: Variación del recorrido intercuartílico .....	51
Ecuación 3: Variación relativa de la mediana.....	51
Ecuación 4: Test X2 no paramétrico.....	52
Ecuación 5: Índice de asociación predictiva.....	52
Ecuación 6: Media.....	65
Ecuación 7: Varianza .....	66
Ecuación 8: Desviación típica .....	66
Ecuación 9: Límite superior .....	67
Ecuación 10: Límite superior rectificado.....	67
Ecuación 11: Límite inferior .....	67
Ecuación 12: Límite inferior rectificado.....	67

## 1. INTRODUCCIÓN

“Creo que un día el agua será un carburante, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen utilizados solos o conjuntamente, proporcionarán una fuente inagotable de energía y de luz, con una intensidad que el carbón no puede, que dado las reservas de carbón se agotarán, nos calentaremos gracias al agua. El agua será el carbón del futuro”. En 1875, Julio Verne expresó estas visionarias palabras en su novela "La isla misteriosa". Ahora, 149 años después, la 'predicción' de este renombrado novelista científico se ha convertido en una realidad palpable.

El hidrógeno, un gas que actúa como vector energético, no es una fuente de energía primaria, sino más bien un medio para almacenar y transportarla, similar a la electricidad. A pesar de ser extremadamente utilizado en la actualidad, su incorporación en los diferentes ámbitos de los sistemas energéticos sigue siendo limitada. No obstante, se vislumbra un futuro prometedor por su contribución en la descarbonización de la sociedad, siempre y cuando se obtenga a partir de fuentes energéticas renovables, conocido como hidrógeno verde.

En los últimos años, el interés en el hidrógeno verde ha aumentado y se han iniciado los primeros proyectos demostrativos. No obstante, esta tecnología aún no es competitiva, carece de una infraestructura adecuada y necesita una reducción en sus costos de producción en un 70-80% para remplazar a los combustibles fósiles sin causar un impacto económico negativo. Por ello, este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se enfoca en estudiar el sector del hidrógeno verde en España a través de la metodología Delphi, permitiendo recopilar opiniones de expertos para comprender los principales impulsores del cambio y los posibles avances del hidrógeno verde en España en los próximos años.

## 2. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTO

### 2.1. Cambio climático y calentamiento global

Desde la década de 1960, el nivel de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera ha experimentado un aumento constante. En 2023, los niveles de dióxido de carbono superaron las 421 partes por millón, en comparación con las 317 partes por millón registradas en 1960. Esto representa un aumento de más del 30% en las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

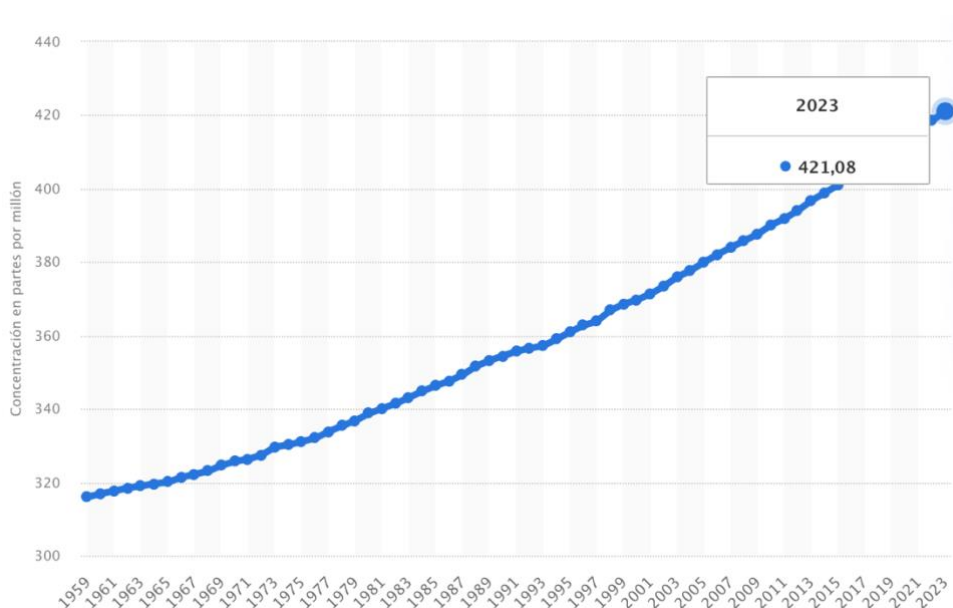


Ilustración 1: Nivel promedio de dióxido de carbono en la atmósfera entre 1959 y 2023 (en partes por millón).  
Fuente: Statica

La elevada concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, junto con las emisiones de otros gases de efecto invernadero, son los principales responsables del deterioro de la capa de ozono y del calentamiento global. Estos gases absorben la radiación solar, lo que provoca un aumento en la temperatura de la Tierra. En el año 2023, tanto la temperatura en la superficie terrestre como en la oceánica registraron un aumento de 1,19 grados centígrados con respecto al promedio del siglo XX, como se observa en el gráfico adjunto.

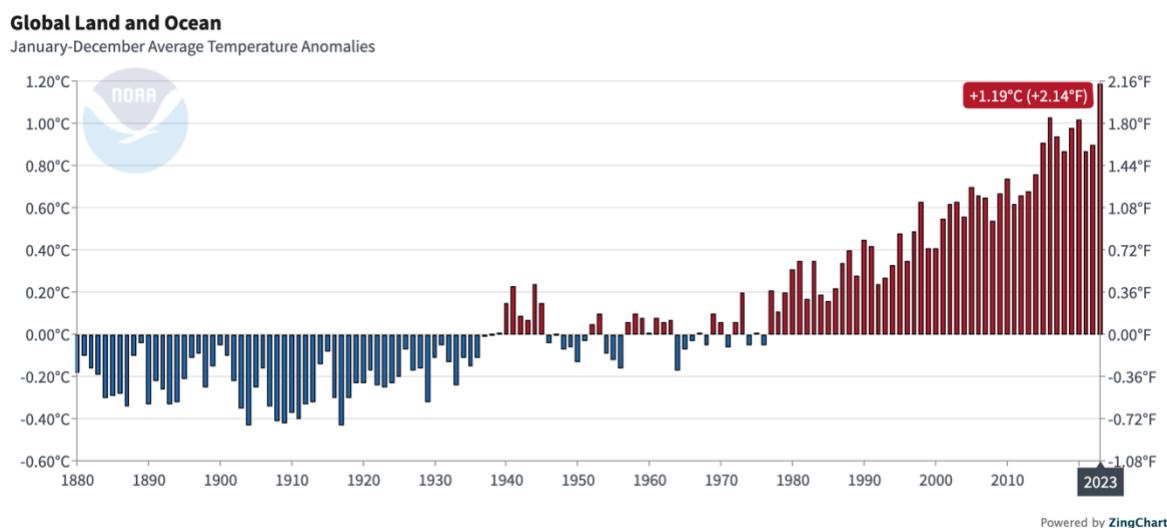


Ilustración 2: Variación anual en la temperatura de la superficie terrestre y oceánica a nivel mundial entre 1880 y 2023. Fuente NOAA

Este aumento gradual de la temperatura tiene consecuencias significativas, como el deshielo del hielo ártico, lo que pone en peligro a las especies animales y vegetales propias de ese ecosistema y contribuye al aumento del nivel del mar. Además, las anomalías climáticas son la principal causa del creciente número de desastres naturales en el mundo en los últimos años.

Para contrarrestar todas estas consecuencias, es necesario retroceder hasta el año 2016 con la firma del Acuerdo de París. Este acuerdo marcó un hito histórico al convertirse en el primer acuerdo universal en el que la mayoría de las naciones se comprometieron a mitigar los efectos del cambio climático. En este acuerdo, se comprometieron a limitar el aumento de la temperatura global promedio a menos de 2°C y a realizar esfuerzos para limitarlo a 1.5°C.

Para alcanzar este objetivo, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), organismo dependiente de la ONU, recomendó limitar las emisiones de dióxido de carbono en un 45% para el año 2030 en comparación con los niveles de 2010, y alcanzar un valor neto de cero emisiones para el año 2050.

## 2.2. ¿Qué es el hidrógeno?

### 2.2.1. Propiedades

El hidrógeno, representado por el símbolo H, ocupa el primer lugar en la Tabla Periódica y es el elemento químico más ligero. Es conocido por su simplicidad, ya que sólo consta de un protón y un electrón. Además, se presenta estable en forma de molécula diatómica ( $H_2$ ) en estado gaseoso.

Aunque el hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, ya que constituye alrededor del 75% de la materia, rara vez se presenta en su forma elemental en la Tierra. En cambio, se encuentra combinado con otras sustancias, como el oxígeno para producir agua o el carbono para producir compuestos orgánicos. En consecuencia, es necesario utilizar técnicas que permitan aislar el hidrógeno de estos compuestos para obtener su forma más pura. Esta característica hace que el hidrógeno no pueda considerarse una fuente de energía primaria, sino más bien un vector energético, es decir, un medio para transportar y almacenar energía.

El hidrógeno es un elemento con una alta densidad energética en masa comparado con otros combustibles de uso común, por el contrario, presente una baja densidad energética en volumen, como se muestra en la gráfica. Por lo tanto, es necesario comprimirlo o licuarlo, para almacenar grandes cantidades de hidrógeno en un espacio adecuado.

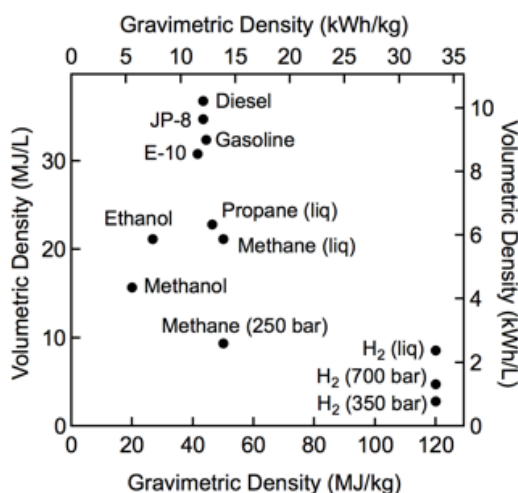


Ilustración 3: Comparación de la energía por unidad de masa y la energía por unidad de volumen de varios combustibles en base a su poder calorífico inferior. Fuente: Net-zero emissions energy systems

Por otro lado, la manipulación del hidrógeno requiere procedimientos y equipos específicos. Aunque no es tóxico, su pequeña molécula y su elevado coeficiente de difusión aumentan la probabilidad de fuga y debilitamiento de materiales. Además, su alta inflamabilidad y sus propiedades inoloras e incoloras dificultan la detección de llamas y fugas, representados desafíos en términos de seguridad.

Aunque las propiedades fisicoquímicas del hidrógeno no son las más adecuadas para una integración directa y fácil en nuestra economía a gran escala, sus beneficios potenciales son suficientes para valorar su papel central en la cadena de valor. Sin embargo, es vital que se apliquen las medidas de seguridad adecuadas. El hidrógeno tiene muchas ventajas importantes, por ejemplo:

- Único combustible que no genera dióxido de carbono durante su utilización, ya que su combinación con oxígeno solo produce agua, contribuyendo a las iniciativas de Energías Cero Carbono.
- Renovable y fácilmente accesible, por tanto, las reservas son inagotables.
- Es posible almacenar hidrógeno de manera relativamente simple, ya sea como gas comprimido o en forma líquida.

### 2.2.2. Colores del hidrógeno

Generalmente se emplea una clasificación cromática para señalar el origen energético del hidrógeno y su impacto en emisiones y contaminación. Según la Agencia Internacional de las energías renovables esta sería una de las clasificaciones más comunes:

- **Hidrógeno negro/marrón:** Se obtiene a partir del carbón mediante un proceso llamado gasificación. Es un proceso muy contaminante ya que libera una gran cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- **Hidrógeno gris:** Producido a partir de gas natural u otros hidrocarburos ligeros como metano o gases licuados del petróleo mediante procesos de reformado. Este proceso produce grandes cantidades de CO<sub>2</sub> que son liberadas a la atmósfera. La mayoría del hidrógeno producido actualmente es gris.
- **Hidrógeno azul:** Se obtiene de manera similar al hidrógeno gris, pero incorpora técnicas de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS). Estas técnicas permiten la reducción de hasta un 95% de las emisiones de CO<sub>2</sub>

producidas durante el proceso, haciéndolo significativamente menos contaminante.

- **Hidrógeno rosa:** Se produce mediante la electrólisis del agua utilizando electricidad proveniente de energía nuclear. Al utilizar energía nuclear para la electrólisis, no se generan emisiones directas de CO<sub>2</sub> durante la producción del hidrógeno.
- **Hidrógeno verde:** El hidrógeno se genera a partir de electricidad renovable utilizando agua como materia prima mediante un proceso de electrólisis. Su producción no genera CO<sub>2</sub>, y el único subproducto generado es oxígeno gaseoso (O<sub>2</sub>)

En 2022, la producción global de hidrógeno alcanzó los 95 millones de toneladas (Mt). Al igual que en 2021, esta producción fue dominada por el uso constante de combustibles fósiles. El gas natural fue el principal combustible utilizado para obtener hidrógeno, representando el 62% de la producción global. Le siguió el carbón, con un 21%, y finalmente, un 16% fue producido a partir de diferentes productos en refinerías y la industria petroquímica.

La producción de hidrógeno de bajas emisiones en 2022 fue inferior a 1 Mt (0,7% de la producción global), muy similar a la de 2021 y casi en su totalidad proveniente de combustibles fósiles con CCUS. La producción a partir de electrólisis de agua siguió siendo relativamente pequeña, aún por debajo de 100 kt H<sub>2</sub> en 2022, lo que representa un crecimiento del 35% respecto al año anterior.

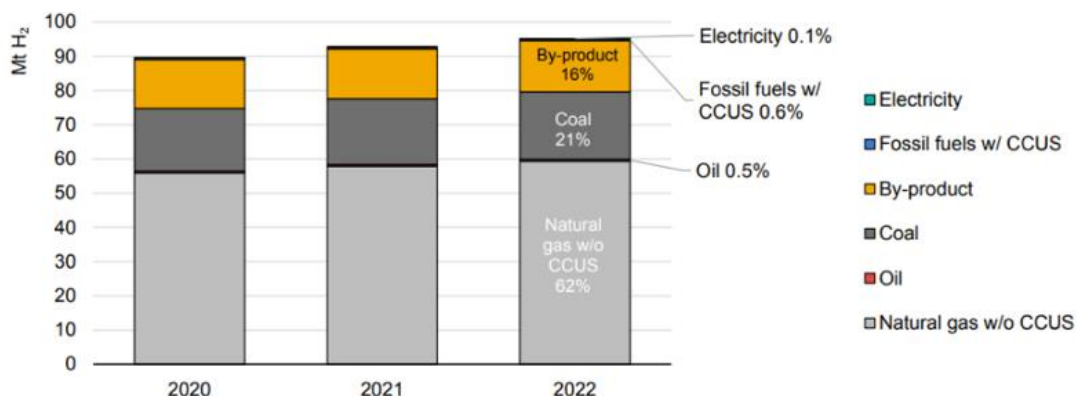


Ilustración 4: Producción de hidrógeno por tecnologías. Fuente: IEA

El consumo de hidrógeno en España ronda las 500,000 toneladas al año, siendo la gran mayoría hidrógeno gris. Aproximadamente el 70% de este se utiliza como materia prima en las refinerías, mientras que un 25% es consumido por fabricantes de productos químicos. El 5% restante se destina a sectores como el de la metalurgia.

### **2.3. ¿Cómo puede el hidrógeno verde ayudar a combatir el calentamiento global?**

Para contrarrestar los impactos del calentamiento global y alcanzar la neutralidad de emisiones de  $CO_2$  para 2050, es fundamental hacer la transición de sistemas energéticos basados en combustibles fósiles a aquellos que sean de bajas o nulas emisiones de  $CO_2$ , centrándose en fuentes renovables. Este proceso puede llevarse a cabo mediante dos vías:

1. **Aumento de la eficiencia energética**, que implica reducir el consumo de la energía primaria por unidad de energía consumida.
2. **La electrificación de la economía**, que, además de mejorar la eficiencia, permite llevar la energía renovable a todos los puntos de los sistemas energéticos. Sin embargo, este enfoque enfrenta dos problemas:
  - Almacenamiento de electricidad: Una economía basada en electrones enfrenta dificultades significativas para el almacenamiento de electricidad durante largos periodos de tiempo. Las baterías, aunque útiles, tienen limitaciones en capacidad y duración.
  - Accesibilidad a ciertos usuarios finales: Existen dificultades técnicas y económicas que impiden que la electricidad llegue de manera eficiente a ciertos usuarios finales.

Se estima que para el año 2050, si se logra la neutralidad en emisiones de  $CO_2$ , aproximadamente un 80% de la energía consumida será en forma de electricidad, mientras que el 20% restante deberá recurrir a otro vector energético, como el hidrógeno. Este 20% corresponde a sectores difíciles de descarbonizar, tales como la industria metalúrgica, que necesita calor a alta temperatura y utiliza hidrógeno como materia prima, la industria cementera, la industria química, que emplea hidrógeno en la producción de fertilizantes y otros productos químicos, y el

transporte de larga distancia, incluyendo camiones, barcos de gran tonelaje y aviación, donde las baterías no son prácticas. Estos sectores representan aproximadamente el 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> actuales. Por lo tanto, el hidrógeno desempeñará un papel crucial en la descarbonización de estos sectores para el año 2050.

El hidrógeno verde es increíblemente versátil y puede utilizarse en una amplia variedad de entornos. Dependiendo del uso, el hidrógeno verde se puede convertir en amoníaco, metanol, entre otros, que pueden ser utilizados en el transporte marítimo. Es técnicamente viable utilizar hidrógeno verde para almacenamiento y amortiguación de la red, o para generar altas temperaturas descarbonizadas en procesos industriales donde la electrificación no es adecuada, o como materia prima en procesos industriales o en la industria de fertilizantes. También se puede aplicar en transporte pesado, como camiones y aviones. La variedad de usos significa que puede crear sinergias y acoplar diferentes sectores como la industria, la energía y el transporte.

## **2.4. El hidrógeno en Europa y España**

En 2020, la Comisión Europea aprobó el Pacto Verde Europeo, un conjunto de iniciativas políticas cuyo objetivo principal es lograr que la Unión Europea sea climáticamente neutral para 2050. A partir de este Pacto Verde, se desarrollaron nuevas estrategias como la Estrategia Europea de Integración Energética en 2019, la Estrategia Europea del Hidrógeno en 2020, y el paquete "Fit for 55" en 2021, que busca reducir las emisiones en un 55% para 2030. Este paquete incluye medidas cruciales para el mercado del hidrógeno.

- Para 2030, el 50% del consumo de hidrógeno en la industria debe ser renovable.
- En 2030, al menos el 2.6% del transporte debe utilizar combustibles renovables de origen no biológico (RFNBO), incluido el hidrógeno.
- Debe haber una estación de servicio de hidrógeno cada 150 km en la red transeuropea de transporte.
- Reducción del 55% de las emisiones en los nuevos vehículos ligeros para 2030 y una reducción del 100% para 2035.

La Estrategia Europea del Hidrógeno establece al hidrógeno como un componente crucial para que la Unión Europea alcance la neutralidad de carbono en 2050 y cumpla con los objetivos del Acuerdo de París de 2015. Esta estrategia se organiza en tres horizontes temporales (2024, 2030 y 2050) con distintos objetivos.

En España, la aplicación del Pacto Verde se refleja en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, presentado en marzo de 2020. El PNIEC establece los principales objetivos para la energía sostenible y la descarbonización, buscando una reducción del 23% en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 respecto a 1990. Las herramientas fundamentales del PNIEC son:

- Aumento de la eficiencia energética.
- Mayor electrificación.
- Reducción del consumo de combustibles fósiles.
- Incremento de las energías renovables.

Como continuación del PNIEC, en octubre de 2020 se presentó la "Hoja de Ruta del Hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable". En este documento del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico se detallan las prioridades y recursos necesarios para cumplir con los objetivos establecidos por los distintos planes, además de promover el desarrollo de la tecnología del hidrógeno verde como un componente esencial. Esta hoja de ruta también tiene como objetivo posicionar a España como un país líder en el despliegue de la tecnología del hidrógeno. Algunos de los objetivos propuestos son:

- Instalación de 11 GW de electrolizadores (600 MW para 2024).
- Que el 25% del hidrógeno utilizado en la industria sea renovable.
- Despliegue de 150 estaciones de servicio de hidrógeno para el transporte.
- Creación de dos líneas ferroviarias impulsadas por hidrógeno.
- Inversión de 8.900 millones de euros en el sector hasta 2030, con 1.555 millones ya asignados del sector público.

En la actualidad, España está llevando a cabo varios proyectos significativos relacionados con el hidrógeno renovable. Aquí se destacan algunos de ellos:

- Green Hysland, es uno de los proyectos más ambiciosos y emblemáticos de España. Se encuentra ubicado en Mallorca y está liderado por Acciona, Enagás y Cemex. Tiene como objetivo producir hasta 7,5 MW de hidrógeno mediante electrólisis con energía fotovoltaica. Este hidrógeno se utilizará para abastecer a diversas industrias y al transporte local. Este proyecto finaliza en 2025 y tiene un presupuesto de 50 millones de euros.
- H2Ports es un proyecto en el puerto de Valencia que busca establecer una cadena de suministro de hidrógeno renovable para reducir la huella de carbono. Incluye la conversión de una grúa telescópica y una cabeza de camión para funcionar con hidrógeno, la construcción de una estación de hidrogena a 350 bares y el estudio de la logística de suministro. Este proyecto ha tenido una duración de 4 años y un presupuesto de 4 millones de euros, finalizado en 2023.
- Planta de hidrógeno verde en Puertollano: inaugurada por Iberdrola en colaboración con Fertiberia en mayo de 2021 con una inversión de 150 millones de euros, emplea energía solar para generar hidrógeno a través de electrólisis. Con una capacidad instalada de 20 MW, representa uno de los mayores sistemas de producción de hidrógeno verde a nivel mundial.
- En Andalucía se encuentra el proyecto del Valle Andaluz del Hidrógeno Verde, una iniciativa con una inversión significativa de 5.000 millones de euros destinada a construir un hub tecnológico avanzado. Este proyecto tiene como objetivo la producción de hasta 300.000 toneladas de hidrógeno verde.
- Otro proyecto clave para España es el corredor europeo H2Med, un gasoducto de hidrógeno verde que enlazará la península ibérica con el resto de Europa para el año 2030. Este gasoducto incluirá un tramo submarino de 455 kilómetros entre Barcelona y Marsella, así como un tramo terrestre de 248 kilómetros entre Celorico da Beira y Zamora. También se establecerán ejes en la Cornisa Cantábrica, el Valle del Ebro y el Levante, sumando aproximadamente 1.500 kilómetros, y otro eje en la Vía de la Plata entre Gijón y Huelva, con una extensión de 1.250 kilómetros, con un pequeño desvío para conectar con el Valle de Hidrógeno de Puertollano.

## 2.5. Cadena de valor

La cadena de valor del hidrógeno hace referencia a todos los procesos que atraviesa el hidrogeno desde su producción hasta sus usos finales, abarcando una amplia variedad de aplicaciones.

Las etapas de la cadena de valor del hidrógeno se describen en el esquema de la ilustración 5. Los aspectos detallados de estas etapas se encuentran en los apartados de esta sección.

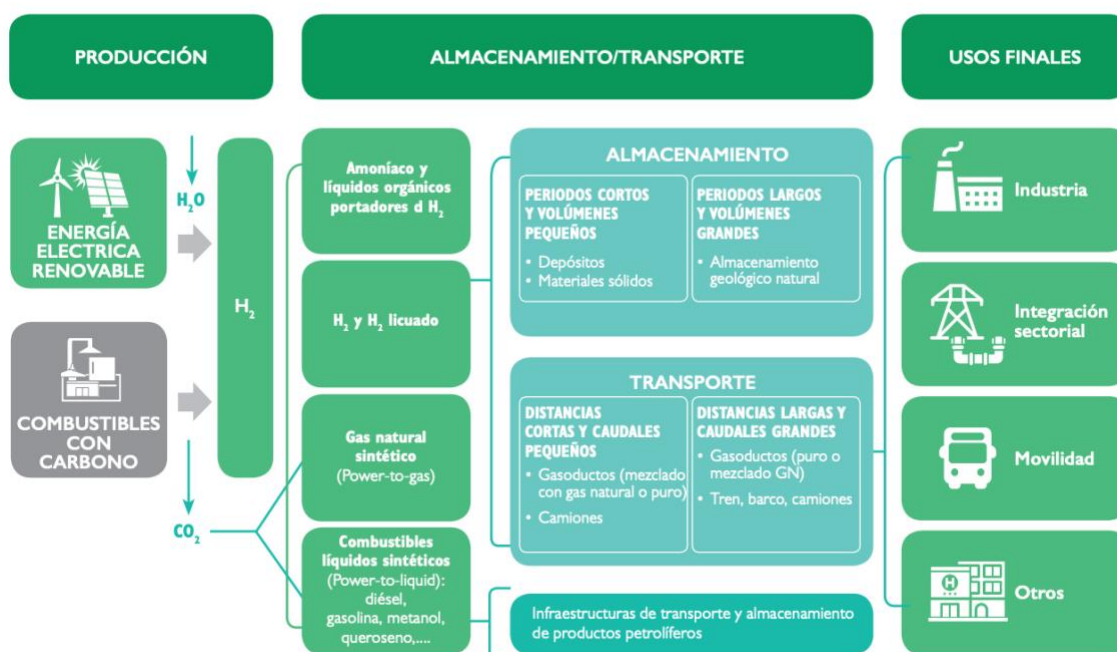


Ilustración 5: Etapas de la cadena de valor del hidrógeno. Fuente: MITECO

### 2.5.1. Producción

La primera etapa de la cadena de valor del hidrógeno se centra en su producción. Existen diversas tecnologías para obtener hidrógeno, dependiendo de la materia prima utilizada. Sin embargo, solo se analizará en profundidad el hidrógeno producido a partir de fuentes energéticas renovables.

#### - Hidrógeno a partir de electricidad renovable (Hidrógeno verde)

El hidrógeno verde se produce mediante un proceso conocido como electrólisis. Este proceso se basa en la conducción de corriente eléctrica continua a través de la molécula de agua (H<sub>2</sub>O), resultando en la separación del oxígeno y el

hidrógeno. La implementación de esta tecnología requiere un dispositivo electroquímico llamado electrolizador, que convierte la energía eléctrica en energía química. El electrolizador consta de tres fases distintivas:

1. Acondicionamiento de la energía: Este proceso utiliza electrónica de potencia para ajustar la corriente proveniente de la red eléctrica a las necesidades específicas de los electrolizadores, que funcionan con corriente continua.
2. Stack o celda: Una vez acondicionada, la electricidad se dirige al stack donde se distribuye. Esta corriente fluye a través de dos electrodos: el ánodo, conectado al polo positivo, y el cátodo, conectado al polo negativo. Durante el proceso, los electrodos atraen iones de carga opuesta: el hidrógeno se acumula en el cátodo y el oxígeno en el ánodo. Se utilizan catalizadores en los electrodos para acelerar las reacciones de oxidación (en el ánodo) y reducción (en el cátodo). Además, se incluye en el stack una membrana electrolítica que permite el paso de protones del ánodo al cátodo, bloqueando simultáneamente el paso de gases y el electrolito que facilita la transferencia de iones entre los electrodos para mantener la conductividad eléctrica en la celda.
3. Acondicionamiento de los gases: Esta etapa puede incluir la compresión o separación de los gases, que implica su limpieza. Esta última etapa puede ser necesaria debido a la saturación de agua en los gases o al alto contenido de oxígeno en el hidrógeno.

Por otro lado, existen diferentes tipos de electrolizadores disponibles en el mercado según el material electrolítico utilizado. Actualmente, debido a la evolución del mercado, se pueden encontrar hasta cuatro variantes distintas de electrolizadores. De mayor a menor madurez tecnológica, se ordenan en: electrolizadores alcalinos (AEC); de Proton Exchange Membrane (PEM); de óxido sólido (SOEC); y de Anion Exchange Membrane (AEM).

El **electrolizador alcalino (AEC)** utiliza una solución de hidróxido de potasio (KOH) como electrolito para la conducción de los iones. Su eficiencia es del 60-70%. Una de sus fortalezas es que se trata de una tecnología madura y económica, con costos de inversión menores debido a su estabilidad tecnológica. Sin embargo, requiere mantenimiento frecuente y tiene una baja densidad de corriente.

El **electrolizador Proton Exchange Membrane (PEM)** utiliza una membrana sólida que permite el paso de protones. Su eficiencia es del 55-60%. Esta tecnología es robusta y ocupa la mitad del espacio por unidad de potencia en comparación con los electrolizadores alcalinos. Además, permite un modelo de operación altamente flexible, y ofrece altas densidades de corriente. Sin embargo, es costosa debido al uso de metales preciosos en algunos de sus componentes, lo que incrementa los costos de producción.

El **electrolizador de óxido sólido (SOEC)** funciona a altas temperaturas utilizando cerámica como electrolito. Su eficiencia es del 70-80%. Una de sus principales fortalezas es su alta eficiencia y capacidad de integrar procesos industriales. Puede funcionar tanto como electrolizador como pila de combustible, permitiendo almacenar hidrógeno y luego utilizarlo para generar electricidad. Además, tiene el potencial de producir combustibles sintéticos a partir de la inyección de agua y CO<sub>2</sub>, lo que podría abaratar la producción de este tipo de combustibles en los próximos años. Sin embargo, presenta una alta temperatura de operación y complejidad técnica, estando en una fase menos avanzada en comparación con los electrolizadores alcalinos o PEM.

Por último, el **electrolizador de Anion Exchange Membrane (AEM)** combina características de los electrolizadores alcalinos y PEM, utilizando una membrana de intercambio aniónico para la transferencia de iones. Esta tecnología es más económica que los electrolizadores PEM, ya que no requiere metales preciosos como catalizadores sobre la membrana, pero aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, aprovechando lo mejor de los electrolizadores alcalinos y PEM.

Cada tipo de electrolizador tiene sus propias fortalezas y debilidades, adaptándose a diferentes necesidades y aplicaciones en la producción de hidrógeno verde. Los electrolizadores alcalinos son más económicos y maduros, pero menos eficientes. Los electrolizadores PEM son más compactos y eficientes, aunque más costosos. Los SOEC ofrecen alta eficiencia y capacidad de producción de combustibles sintéticos, pero requieren alta temperatura y presentan una mayor complejidad técnica. Finalmente, los AEM representan una tecnología emergente

que combina las ventajas de los alcalinos y PEM, pero que aún necesita mayor desarrollo.

### 2.5.2. Acondicionamiento y almacenamiento

Las características físicas del hidrógeno, como su baja densidad energética por unidad de volumen y su naturaleza volátil, permeable e inflamable, hacen necesario su acondicionamiento para el almacenamiento, transporte y/o usos finales. Las tecnologías para este propósito se dividen en dos categorías principales:

#### - Físico

- Compresión: El hidrógeno se comprime a altas presiones (200-800 bar) y se almacena en cilindros o tanques. Esto requiere entre 9-16% del LHV del hidrógeno comprimido.
- Licuación: El hidrógeno se enfría a  $-253^{\circ}\text{C}$  para convertirlo en líquido, lo que facilita su almacenamiento en grandes volúmenes. Este proceso requiere aproximadamente 36% del LHV del hidrógeno licuado.

#### - Basado en materiales

- Adsorción Física: El hidrógeno se adhiere a la superficie de materiales con alta área superficial como carbones activados, metal-organic frameworks (MOFs), y zeolitas.
- Hidruros: El hidrógeno se almacena en materiales metálicos que lo absorben y liberan mediante procesos reversibles. Los hidruros metálicos permiten un almacenamiento compacto y seguro.
- Portadores Químicos: El hidrógeno se almacena en compuestos químicos que lo liberan mediante reacciones químicas. Ejemplos incluyen el LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers), moléculas orgánicas ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ) y el amoníaco.

El tipo de almacenamiento de hidrógeno utilizado depende de la aplicación final deseada y está determinado en gran medida por la capacidad energética requerida, la velocidad de carga y descarga, y las limitaciones de espacio disponibles.

#### - Almacenamiento en fase gas del hidrógeno

El almacenamiento del hidrógeno es muy complejo y costoso debido a su baja densidad energética, lo que requiere su compresión y almacenamiento en equipos

con condiciones bastante estrictas. Las principales alternativas para el almacenamiento de hidrógeno en fase gaseosa son las siguientes:

- **Almacenamiento en tanques:** Este método permite ajustar el almacenamiento a las necesidades de los procesos, facilitando la disponibilidad de hidrógeno en momentos en que no haya sol o viento, cuándo los electrolizadores estén inactivos... Los tanques se utilizan principalmente para ciclos de carga y descarga. Las presiones pueden adaptarse en función del espacio disponible, variando desde 30 hasta 1000 bares.
- **Almacenamientos geológicos naturales:** Otra opción para mitigar la baja densidad energética del hidrógeno es almacenarlo en grandes volúmenes sin necesidad de comprimirlo tanto. Este enfoque utiliza almacenamientos geológicos naturales, como las cavernas salinas, que son ideales debido a su compatibilidad comprobada con el hidrógeno. Existen otros métodos de almacenamiento geológico, utilizados actualmente para el gas natural, cuya efectividad para almacenar hidrógeno aún no se ha determinado. Esto se debe a que el hidrógeno puede reaccionar con las paredes de las formaciones, podría causar fugas... Estas cavidades permiten el almacenamiento de grandes cantidades de hidrógeno, actuando como un pulmón para los sistemas energéticos. Este método es adecuado para el almacenamiento estacional y es relativamente económico.

- Almacenamiento en fase líquida del hidrógeno

Permitir aumentar la densidad del hidrógeno facilitando su almacenamiento y transporte de manera sencilla y económica. La licuación del hidrógeno a  $-253^{\circ}\text{C}$ , aunque no es una tarea sencilla, ofrece una solución logística simple y asequible en comparación con el hidrógeno gaseoso. Esta tecnología, ya madura, presenta un desafío en cuanto al alto consumo eléctrico, dado que los procesos de compresión y expansión involucrados son poco eficientes, con una eficiencia del 20%. Se espera que las nuevas plantas reduzcan a la mitad el consumo energético por kilogramo de hidrógeno comparado con la actualidad. También, el alto CAPEX penaliza las métricas de inversión de estos proyectos.

- Almacenamiento de portadores químicos

Estas moléculas permiten un manejo mucho más estable y manejable, aunque también presentan desventajas en otros aspectos, como se verá a continuación.

- El **amoniaco**, ya en uso actualmente, es interesante para almacenar energía, especialmente si se utiliza en su forma final. Convertir hidrógeno a amoniaco y luego reconvertirlo no es eficiente debido a las pérdidas de CAPEX y eficiencia. El amoniaco tiene muchos usos directos. Es una molécula bien conocida y manejada por más de 100 años, destacando su fácil licuado, lo que aumenta su densidad energética. Se licua a  $-33^{\circ}\text{C}$  o a 10 bares, siendo un líquido manejable con infraestructura existente, lo que acelera proyectos. Inconvenientes: la planta de amoniaco requiere un proceso Haber-Bosch, una planta de separación de aire y tanques. Para reconvertirlo se necesita una unidad de cracking, que no existe a gran escala actualmente. Los costes son elevados y la reconversión implica pérdidas en costes y eficiencia. Hoy en día, el amoniaco se usa mucho en fertilizantes y se espera que se use como combustible, especialmente en barcos, maquinaria pesada, y en centrales de ciclo combinado o co-combustión con carbón
- Los **portadores orgánicos líquidos** permiten almacenar hidrógeno formando compuestos estables, densos y almacenables, similares a un derivado del petróleo. Ofrecen una logística muy simple, similar a la de los productos petrolíferos, y el compuesto resultante es reutilizable. Además, son válidos para el almacenamiento estacional. Sin embargo, presentan desventajas como un coste elevado tanto energético (conversión/reconversión) como económico. También utilizan benceno/tolueno como base química y su desarrollo está limitado a pequeñas cantidades en la actualidad.
- El **metanol** se forma combinando CO con hidrógeno, resultando en un compuesto líquido muy denso, estable y biodegradable. Este compuesto tiene gran capacidad portadora de hidrógeno y potencial como combustible en barcos o para combustión industrial. Es válido para almacenamiento estacional y tiene gran potencial como complemento al biometanol. Sin embargo, presenta desventajas como el elevado coste energético y económico del proceso de conversión y reconversión. Además, requiere disponer de una fuente de carbono renovable cerca y su desarrollo está limitado actualmente a pequeñas cantidades.

### 2.5.3. Transporte y distribución

Para el transporte de hidrógeno, es crucial considerar el estado en que se transportará (gaseoso, líquido o mediante líquidos portadores) y elegir el método de almacenamiento más apropiado según la distancia y el volumen a transportar. Según un informe de la Agencia Internacional de la Energía, se presenta un cuadro orientativo que identifica el medio de transporte más recomendable en función de estos factores

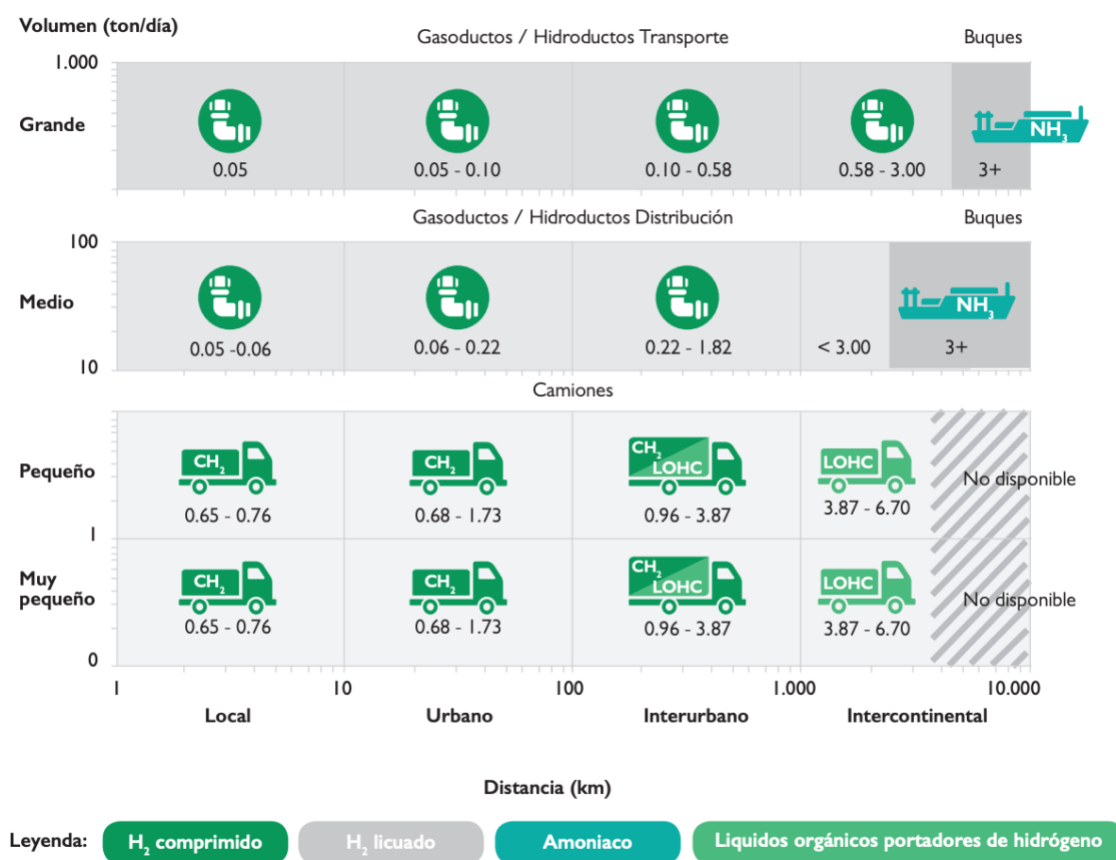


Ilustración 6: Formas de transporte de H2. Fuente: MITECO

Para hidrógeno líquido:

- **Transporte por carretera:** Se utiliza en camiones cisterna que pueden transportar 360 kg de hidrógeno comprimido o 4.300 kg de hidrógeno líquido. La distribución en botellas aporta flexibilidad.
- **Transporte por ferrocarril:** Se usan cisternas más voluminosas, con capacidades entre 2.900 y 9.100 kg de hidrógeno.

- **Transporte marítimo:** Los buques de carga tienen tanques con capacidad de hasta 70 toneladas de hidrógeno, ideales para grandes distancias y grandes volúmenes.

Por otro lado, para hidrógeno gaseoso, se pueden utilizar las infraestructuras existentes del sector gasista mediante la inyección de hidrógeno renovable, así como infraestructuras asociadas a líquidos portadores como el amoníaco. Estas opciones aprovechan las instalaciones actuales y operan a costos más bajos, aunque requieren adaptaciones específicas.

Además, se podría desarrollar una red de tuberías dedicada al transporte de hidrógeno (hidroductos), que serían más voluminosas que las infraestructuras gasistas actuales. Esta opción, aunque costosa, depende del crecimiento de la demanda de hidrógeno y de las inversiones en tecnología y I+D+i. Actualmente, las pocas redes dedicadas al transporte de hidrógeno son de uso interno, operadas por productores industriales, y se utilizan principalmente para la industria química y refinerías.

#### **2.5.4. Usos finales**

La tercera y última etapa de la cadena de valor del hidrógeno verde abarca una variedad de usos finales, que dependen de si se utiliza directamente como hidrógeno o como materia prima en otros productos. En el caso de las aplicaciones directas del hidrógeno renovable en su forma natural puede emplearse como combustible, vector energético o materia prima industrial. Las aplicaciones del hidrógeno renovable en sustitución de recursos fósiles o contaminantes se agrupan en los siguientes sectores:

- Industria

En España, el consumo anual de hidrógeno es de aproximadamente 500,000 toneladas, mayoritariamente de hidrógeno gris. Este hidrógeno se utiliza principalmente en plantas industriales para la fabricación de productos como amoníaco y en refinerías. La transición hacia el uso de hidrógeno renovable en lugar de hidrógeno gris representa un gran potencial para la descarbonización de la industria.

Las necesidades energéticas del sector industrial dificultan el uso de energías renovables como la electricidad. Sin embargo, el hidrógeno renovable, con su alta capacidad calorífica y bajas emisiones contaminantes, presenta una oportunidad significativa. Los principales campos de aplicación del hidrógeno renovable en la industria son la industria química, metalúrgica y del refino.

- Integración sectorial

El hidrógeno, por su condición de vector energético y alta versatilidad, es clave para integrar diferentes sectores energéticos, mejorando la flexibilidad, disponibilidad, seguridad, eficiencia y rentabilidad en la transición hacia una economía descarbonizada. Los roles principales del hidrógeno verde incluyen sectores como el eléctrico, el sector gasista, la economía circular y lo relacionado con el almacenamiento energético.

- Movilidad

El hidrógeno renovable se utiliza en el sector del transporte mediante pilas de combustible (FC). Estos dispositivos realizan el proceso inverso a un electrolizador, es decir, utilizan el hidrógeno para producir electricidad, aportando la fuerza motriz necesaria para impulsar los vehículos. Estas pilas de combustible se combinan con baterías, ofreciendo ventajas como menor tiempo de recarga y mayor autonomía, aunque con un rendimiento energético inferior al de los vehículos eléctricos de baterías.

En cuanto a las aplicaciones del hidrógeno en movilidad, se destaca su uso en el transporte por carretera, que incluye tanto vehículos ligeros como pesados. En el transporte ferroviario, el hidrógeno es viable para vías no electrificadas. En el transporte marítimo, se utiliza en embarcaciones y maquinaria portuaria. En la aviación, el hidrógeno tiene potencial para la propulsión de aeronaves y la fabricación de combustibles sintéticos como el bioqueroseno.

- Otros

Según datos de EUROSTAT, en 2018, alrededor del 30% de la energía consumida en España se destinó a hogares y al sector terciario, siendo el gas

natural y la electricidad las principales fuentes energéticas. En aplicaciones estacionarias, se utilizan sistemas de cogeneración y microcogeneración tanto en el sector residencial como industrial. El hidrógeno renovable se presenta como una alternativa clave para la descarbonización de estos sectores, proporcionando un suministro energético flexible, adaptado y continuo.

### **3. ANÁLISIS ESTRATÉGICO**

Para la correcta realización de este Trabajo de Fin de Grado, es esencial llevar a cabo un análisis del entorno, en el contexto del desarrollo del hidrogeno verde en España. Este análisis se realizará mediante un análisis PESTEL y DAFO, los cuales van a permitir identificar problemas clave y oportunidades que serán utilizados posteriormente en el estudio Delphi, para la formulación de preguntas más específicas y relevantes para los expertos.

#### **3.1. Análisis PESTEL**

El análisis PESTEL examinará los factores Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, Ambientales y Legales que afectan la implementación y el éxito del hidrógeno verde en España.

##### **3.1.1. Factores políticos**

- Apoyo regulatorio: Un marco regulatorio claro y bien definido es crucial para desarrollar una economía del hidrógeno, ya que proporciona una dirección y un conjunto de acciones necesarias para alcanzar los objetivos establecidos. España cuenta con un fuerte apoyo regulatorio para el desarrollo del hidrógeno verde. En 2019, se lanzó la Hoja de Ruta del Hidrógeno, estableciendo un objetivo inicial de 4 GW de capacidad instalada de electrolizadores. Este objetivo se amplió recientemente a 11 GW en el borrador del PNIEC para 2030. Esta hoja de ruta establece metas claras y medidas específicas para promover la economía del hidrógeno, desde la definición de objetivos hasta la regulación tanto a nivel europeo como nacional.
- Apoyo público inicial: En las primeras etapas es necesario dar subsidios para reforzar la rentabilidad de los proyectos pioneros como se ha visto en España con los Next Generation UE (Plan de ayudas desde Europa para dinamizar la

economía europea) a través de los PERTEs o a través del Banco Europeo del hidrógeno.

- Dependencia energética de importaciones fósiles: España importa una parte significativa de su energía, especialmente petróleo y gas natural. En términos de consumo final de energía, más del 70% proviene de fuentes externas, lo que indica una alta dependencia energética, haciendo a España un país muy vulnerable a las fluctuaciones de precios y conflictos geopolíticos.

### **3.1.2. Factores económicos**

- Coste de producción: Al analizar los costes del hidrógeno verde, el componente más crucial es el coste de la energía renovable necesaria para su obtención. Este es el pilar fundamental donde reside la mayor posibilidad de hacer que el hidrógeno sea más barato y competitivo. Existen otros también como el hecho de tener unos electrolizadores más eficientes, una buena red que permita mantener la estabilidad y además tener una economía de escala. Según el informe “Haciendo rentable el Hidrógeno Verde” , el coste del H2V está en una horquilla de precios de entre 2,95 y 6,84 €/kg, mientras que el hidrógeno gris, proveniente del gas natural, tiene un precio de 1,5 y 3,7 €/kg.
- Inversión de grandes empresas en energías verdes: Grandes empresas energéticas españolas están insistiendo en el Hidrógeno verde como puede ser Iberdrola, Repsol...

### **3.1.3. Factores sociales**

- Compromiso Integral en la Transición Energética: el desarrollo del hidrógeno verde se ve fortalecido por un compromiso integral que incluye reguladores, inversores alineados con criterios ESG, empresas con metas de descarbonización, y consumidores interesados en energías limpias. Este enfoque integral es crucial para avanzar hacia la descarbonización y alcanzar el objetivo de emisiones netas cero para 2050 y por consiguiente hacer que la economía de hidrógeno funcione.

#### **3.1.4. Factores tecnológicos**

- Innovación y Desarrollo: España cuenta con centros de investigación avanzados como puede ser el Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2) o la Fundación Hidrógeno Aragón. También cuenta con empresas que están desarrollando el hidrógeno verde como puede ser Iberdrola con la planta de hidrógeno de Puertollano o Enagás con el proyecto Green Hysland en Mallorca.
- Gestión eficiente de la energía: La transición energética requiere una gestión eficiente de la energía, lo que implica reducir el consumo energético, ampliar el uso de las energías renovables, diversificar la matriz energética y electrificar directamente aquellos usos que lo permitan. El hidrógeno verde desempeña una doble función: descarbonizar los usos que actualmente no permiten electrificación directa por razones técnicas y/o económicas y actuar como sistema de almacenamiento de energía renovable.

#### **3.1.5. Factores ambientales**

- Calentamiento global: El aumento significativo de la temperatura en el planeta Tierra en los últimos años, especialmente desde la revolución industrial, se debe en gran medida al incremento de dióxido de carbono (CO2) en la atmósfera, lo cual afecta la capa de ozono.

#### **3.1.6. Factores legales**

- Falta de regulación e impuestos para el Despliegue del Hidrógeno: En España, la falta de normativas específicas para regular tecnologías relacionadas con el hidrógeno crea incertidumbre y dificulta su desarrollo. Las regulaciones actuales son generales y no están adaptadas a las necesidades únicas de estas tecnologías emergentes, lo que puede desincentivar la inversión y el despliegue tecnológico necesario para su implementación exitosa. Es crucial establecer marcos regulatorios claros y específicos para impulsar el crecimiento y la adopción de estas tecnologías en el país. Por otro lado, la falta de regulación tarifaria e impuestos específicos para el hidrógeno crea incertidumbre en su desarrollo y despliegue en el mercado energético del país.

### **3.2. Análisis DAFO**

El análisis DAFO permite evaluar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del hidrógeno verde en España.

#### **3.2.1. Fortalezas**

- Gran capacidad de generación de energía renovable (Recursos renovables):
- Posee una gran red de almacenamiento, transporte y distribución (Red de gas natural): Esta red se puede reconvertir total o parcialmente al transporte de hidrógeno.
- Medidas gubernamentales y estrategias para fomentar el desarrollo del hidrógeno verde en España
- Colaboraciones y alianzas público-privadas para promover la investigación y desarrollo del hidrógeno verde

#### **3.2.2. Debilidades**

- Falta de infraestructura de distribución desarrollada
- Falta de demanda
- Marco legal incipiente
- Incentivos fiscales y subvenciones lentos
- Baja eficiencia energética de los electrolizadores
- Costos elevados tanto de CAPEX como de OPEX.
- Altos costos del hidrógeno verde en comparación con el hidrógeno gris

#### **3.2.3. Oportunidades**

- Creación de empleo e impulso a la economía.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
- Aumento de la seguridad energética
- Descarbonización de los sistemas energéticos aislados.
- Desarrollo de las cadenas de valor de la economía del hidrógeno y posicionar a España como referente tecnológico
- Creación de hubs o centros del hidrógeno.
- Integración de un mayor porcentaje de energías renovables en el sistema eléctrico.

- Transformar a España en una potencia europea en la generación de energía renovable.
- Impulsar la investigación, el desarrollo y la innovación en el sector energético español.

#### **3.2.4. Amenazas**

- Dependencia de energías renovables intermitentes.
- Cambios en el entorno económico por crisis financieras o recesiones
- Riesgos geopolíticos por conflictos o inestabilidad política
- Regulaciones Gubernamentales que impongan más restricciones o aumenten los costos.
- Sequía de agua dulce
- Dependencia de materiales críticos

## **4. EL MÉTODO DELPHI**

### **4.1. Introducción**

Conducir cualquier organización, ya sea empresarial, familiar, militar o gubernamental, implica tomar decisiones continuamente. A lo largo del tiempo, la experiencia, la intuición y la formación han sido pilares fundamentales para los líderes en la toma de decisiones.

A medida que estas organizaciones han crecido y se han enfrentado a entornos más complejos, la gestión se ha vuelto más racional y científica. La investigación ha sido clave en este proceso, desarrollando modelos de toma de decisiones y herramientas de previsión para ayudar a planificar el futuro.

La previsión empresarial se convierte así en un instrumento esencial para la planificación y toma de decisiones estratégicas. Aunque ha habido avances en técnicas de predicción, como la estadística, la economía, la psicología..., su adopción completa ha sido limitada en la práctica empresarial, especialmente en decisiones importantes.

Los líderes a menudo confían más en su intuición y en el conocimiento personal, lo que sugiere un desajuste entre las herramientas de previsión disponibles y su aplicación efectiva en el contexto empresarial.

En resumen, aunque la previsión empresarial es fundamental, su adopción completa se ve obstaculizada por limitaciones en su aplicación y por la preferencia de los líderes por la intuición y el conocimiento personal

## **4.2. Las técnicas de previsión**

Toda previsión se fundamenta en el uso de datos del pasado y en la aplicación de leyes o normas para relacionarlos con el futuro, ya sea de manera directa o indirecta. Los métodos varían en los tipos de datos pasados que requieren y en las normas que emplean para establecer esta relación entre pasado y futuro.

Siguiendo estos criterios, podemos distinguir entre técnicas que se apoyan en información objetiva y técnicas que se basan en información subjetiva, estas últimas pudiendo ser individuales o grupales.

### **4.2.1. Técnicas de previsión objetivas y sus limitaciones**

Las técnicas de previsión basadas en información objetiva se pueden dividir en dos grandes bloques:

*Técnicas basadas en información objetiva histórica:* Utilizan datos históricos referentes a la evolución de la propia variable cuyo comportamiento se quiere pronosticar

- Modelos “ingenuos” (media, futuro igual al presente, etc.).
- Alisado de series temporales (alisado exponencial, medias móviles).
- Proyecciones de tendencia (lineales, potenciales, parabólicas, exponenciales, curva S, ...)
- Modelos de descomposición temporal y análisis de series.
- Modelos avanzados de series temporales (ARIMA, chartismo).
- Modelos probabilísticos (distribución normal, de Poisson, modelos de Markov, ...)

*Técnicas basadas en información objetiva relacional:* Las que se basan en las relaciones constatadas entre el comportamiento de variables, para predecir la evolución de un fenómeno en función de la evolución de otros.

- Métodos analógicos (analogías temporales, espaciales o naturales).
- Métodos barométricos (indicadores).
- Modelos de simulación deterministas (tablas input-output y simulación de sistemas).
- Modelos de experimentación social.
- Modelos econométricos.

### Limitaciones de las técnicas “Objetivas” de previsión

Cada técnica mencionada anteriormente tiene sus propias ventajas e inconvenientes, lo que las hace más adecuadas para diferentes situaciones específicas en el ámbito empresarial y social. Parece que estas técnicas abarcan todas las necesidades de previsión posibles. Sin embargo, esto no es del todo cierto. Todas ellas comparten limitaciones comunes que restringen su aplicabilidad en todas las circunstancias, lo que conduce a la necesidad de buscar otros sistemas alternativos de previsión.

1. *Todas estas técnicas necesitan datos históricos referidos a las variables a predecir y, en su caso, a las variables explicativas.* El problema surge cuando estos valores históricos no están disponibles (como en el caso del lanzamiento de un nuevo producto), son muy escasos o no son fiables debido a su imprecisión o errores.
2. *La necesidad de contar con datos abundantes y cuantitativos condiciona en cierta manera la elección de las variables a considerar.* Dichas variables han de ser conocidas, objetivas y cuantitativas. Es necesario que estas variables sean conocidas, objetivas y cuantitativas. Sin embargo, debido a que los modelos no incluyen de manera adecuada variables cualitativas (como poder, presión, ética, motivación...), no pueden prever su evolución, lo que resulta en errores en la predicción.
3. Dadas las dos limitaciones mencionadas anteriormente, se busca identificar la relación entre los datos históricos y las variables para proyectarla hacia el futuro

con el propósito de prever un comportamiento. Se supone que esta relación será estable con el tiempo; sin embargo, sostener esta afirmación se vuelve cada vez más difícil, especialmente debido a la velocidad creciente de cambio. Por lo tanto, las técnicas que solo consideran información objetiva no son apropiadas para predicciones a largo plazo; son más adecuadas para el corto o muy corto plazo.

4. Los datos, variables y relaciones se plasman en modelos matemáticos, lo que permite representar de manera más simplificada la complejidad de la realidad. Ahora, además de considerar las limitaciones existentes, es necesario tener en cuenta la selección del modelo, que produce un resultado específico ante entradas que pueden no ser completamente determinadas.
5. El empleo de estas técnicas requiere unos *conocimientos matemáticos y estadísticos, así como comprender la técnica en sí misma*.
6. *Tendencia a realizar la predicción desde una perspectiva sesgada*, no solo por omitir ciertas variables, sino también por separar la realidad económica del resto de realidades (sociales, tecnológicos, políticos, etc.), asumiendo que son estables y conocidos, sin considerar posibles incompatibilidades entre ellas. Por otra parte, la aceleración del cambio no se limita solo al ámbito económico, sino que afecta a todos los aspectos de la sociedad, que evolucionan cada vez más interconectados y rápidamente. Los métodos tradicionales de predicción ignoran esta interconexión y, cuando la consideran, sus soluciones cuantitativas suelen ser poco útiles para predecir eventos no autónomos en un futuro lejano.
7. Por último, el investigador suele abordar el problema en cuestión con sus propios conocimientos, mostrando una tendencia a desconfiar de la consideración de otros factores o herramientas desconocidas.

El pasado ya no proporciona una guía confiable para tomar decisiones futuras. La falta de datos históricos sólidos dificulta proyectar el futuro con certeza. A menudo, las relaciones previamente establecidas no son garantía de continuidad y, en algunos casos, no hay referencias anteriores disponibles. En resumen, los directivos actuales se enfrentan cada vez más a la incertidumbre al tomar decisiones importantes.

#### 4.2.2. Técnicas de previsión subjetivas y sus limitaciones

La información subjetiva se basa en las creencias, expectativas y opiniones individuales, así como en las experiencias y datos acumulados. A diferencia de la información objetiva, la subjetiva depende del procesamiento mental realizado por el individuo o grupo. Consultar a expertos no implica recurrir a métodos no científicos, sino comprender la metodología científica de manera más amplia. Los expertos son aquellos que pueden proporcionar información relevante para la predicción, ya sea objetiva o subjetiva.

Para aprovechar esta información, se desarrollan técnicas que la explicitan de manera razonada y sistemática. Estas técnicas buscan reducir la incertidumbre al utilizar la información subjetiva proporcionada por los expertos. No se limitan a la extrapolación de datos históricos, sino que requieren imaginación, talento, visión de futuro y juicio para predecir con eficacia los cambios a largo plazo.

Las técnicas de previsión basadas en información subjetiva se pueden dividir en dos grandes bloques:

- *Individuales*: La información proviene de una fuente individual o de un grupo sin interacción entre sus miembros, como una encuesta.
- *Grupales*: se llega a un juicio singular a partir de un conjunto de individuos que interactúan entre sí. Se considera que las técnicas grupales son más efectivas que las individuales debido a la creencia generalizada de que el resultado del comportamiento colectivo de un grupo de individuos es superior, en ciertas circunstancias, a la mera suma de los resultados individuales de cada uno de sus miembros.

Factores que justifican la superioridad del grupo sobre el individuo:

1. *El grupo dispone de mayor número de recursos*. En un grupo se acumulan mayor número de conocimientos, habilidades, experiencia e información. Además, al poner en común los recursos individuales, facilita un enfoque más completo del problema, un procesamiento de la información más eficiente, una mayor diversidad de alternativas y una mejora en la calidad de los resultados obtenidos.

2. *Superior rendimiento de sus miembros derivado del esfuerzo por satisfacer necesidades sociales.* La necesidad de ser reconocido, de poder, de estima, son ejemplos de estas; si estas son activadas, la aportación individual puede verse mejorada, con el fin de satisfacerlas.
3. *Fenómenos de influencia social en la opinión individual.* En general, las personas tienen más facilidad para influir en el comportamiento de los demás en áreas en las que tienen experiencia, y a su vez, son más propensas a ser influenciadas en áreas que desconocen. La interacción positiva entre personas con conocimientos diversos generalmente contribuye al mejor desempeño del grupo en sus actividades.
4. *Posibilidad de integrar en el grupo a personas directamente implicadas en los problemas que se tratan de resolver.* Involucrar a trabajadores, clientes, ciudadanos, directivos u otras partes relacionadas con el problema conducirá a resultados más satisfactorios.

Existen diversas formas de llevar las aportaciones individuales hacia un resultado grupal común, muchas de las cuales se materializan en técnicas reconocidas. Entre ellas, la más común y ampliamente investigada es, sin lugar a dudas, la técnica de discusión cara a cara, en cualquiera de sus variantes.

Una de ellas son los grupos de discusión cara a cara. Esta técnica implica reunir en un mismo lugar a un grupo variable de expertos para intercambiar información, opiniones y conocimientos sobre un problema específico. A partir de la posible modificación de sus puntos de vista individuales, el objetivo es llegar a una decisión de grupo.

La técnica de discusión cara a cara es ampliamente utilizada en empresas, como en comités y comisiones ejecutivas, debido a su simple formación y funcionamiento. Aunque permite confrontar puntos de vista especializados y satisfacer necesidades sociales como poder, estatus y afiliación, la calidad de sus resultados a menudo es limitada, especialmente en la formulación de previsiones. Los grupos cara a cara presentan ventajas como la creatividad y la complementariedad, pero también inconvenientes como influencias negativas y presiones hacia el consenso, derivados de la interacción directa entre individuos.

A continuación, se expondrán de manera concisa los problemas potenciales de los grupos cara a cara, los cuales justifican el uso del método Delphi:

- Dificultad para reunir al grupo en un lugar y momento específico.
- Limitación en la contribución del potencial individual de cada experto al grupo, debido a la inhibición, el pensamiento cerrado del grupo o la clausura prematura.

Por estas razones, es necesario seguir desarrollando técnicas de previsión y toma de decisiones grupales que aborden los problemas inherentes a la interacción directa, sin perder por completo sus ventajas. Este es el contexto que justifica la aparición del método Delphi.

### **4.3. Fundamentos del Método Delphi**

#### **4.3.1. Definición**

Una primera aproximación sería: “El método Delphi es una técnica de investigación social que trata de obtener una *opinión grupal* fidedigna a partir de un *panel de expertos*”.

Una definición una poco más elaborada de la técnica Delphi según Listone y Turoff sería: “Un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal, recogida y mejora del conocimiento a partir de un panel de expertos, que es efectivo a la hora de permitir a ese grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo”

#### **4.3.2. Origen y evolución**

El nombre "Delphi" deriva de Delfos, una ciudad de la antigua Grecia ubicada al pie del monte Parnaso. Esta localidad es famosa por su templo, célebre por albergar el Oráculo de Delfos. Según la mitología griega, en tiempos antiguos, el dios Apolo transmitía predicciones sobre el futuro a través de una sacerdotisa (Pitia) que interpretaba sus mensajes.

Esta técnica emergió un poco con carácter de predecir el futuro. Los investigadores decidieron nombrarlo así en reconocimiento al oráculo de los dioses de Delfos. Sin embargo, más tarde, algunos investigadores expresaron arrepentimiento por esta elección, ya que asociar el método con el esoterismo podría

sugerir una base no científica. A pesar de ello, gracias a este nombre, que se convirtió en un prodigio de marketing, la técnica se hizo mucho más conocida que si se la hubiera denominado simplemente como un método de estructuración de comunicación social.

El primer experimento precursor a la metodología Delphi, data entorno al 1948. Se centraba en mejorar las predicciones de los resultados de las carreras de caballos. A pesar de sus promesas, críticas sobre su aplicación y algunos defectos frenaron el progreso durante diez años aproximadamente.

El hito crucial para respaldar científicamente esta técnica fue gracias al estudio llevado a cabo por el filósofo americano Abraham Kaplan en 1949. En el demostró experimentalmente la superioridad de la predicción grupal sobre la individual. Sin embargo, no se comprobó la superioridad de los métodos iterativos sobre la media de las previsiones individuales sin iteración.

Los experimentos posteriores de Kaplan impulsaron a investigadores de la Rand, como Norman C. Dalkey, Olaf Helmer, Bernice Brown, T. J. Gordon, N. Rescher y S. W. Cochran, a desarrollar un procedimiento que evitara problemas de influencias negativa de individuos dominantes entre los expertos y mejorara de los resultados mediante la interacción.

Helmer y Rescher introdujeron el nombre "método Delphi" y su esencia en un artículo en 1951, donde también justificaron el juicio de expertos en ciencias "inexactas" y establecieron las bases para su uso científico. La primera aplicación conocida de la técnica Delphi, con todas sus características definitorias, fue realizada por Dalkey y Helmer en 1951, pero el contenido del estudio, realizado con fines militares, no se divulgó hasta diez años después.

Este estudio implicaba a un panel de siete expertos en guerra nuclear y se centraba en determinar el número de bombas atómicas necesarias para reducir la producción armamentista estadounidense ante un ataque soviético. La dispersión de las respuestas se estabilizó a lo largo de las iteraciones, marcando el fin de la etapa de secretismo del método con la publicación del mismo y el inicio de una fase de apertura.

La primera propuesta documentada para utilizar la técnica Delphi con fines no militares fue presentada por Helmer y Quade en 1963, sugiriendo su aplicación en la planificación de economías en desarrollo. Su utilización se extendió rápidamente, especialmente hacia la previsión tecnológica, la toma de decisiones empresariales y la evaluación de problemas sociales complejos.

En la década de los setenta, el método enfrentó duras críticas que llevaron a una revisión de sus aspectos metodológicos, y años más tarde, se procedió a su refinamiento y aplicación en problemas concretos.

#### **4.3.3. Características**

La particularidad que tiene el método Delphi, que hace que su elección este por encima de otras técnicas grupales (encuesta, debate, focus group...), son las siguientes cuatro características definitorias y diferenciadoras:

- *Proceso Iterativo*: Los expertos son consultados más de una vez sobre un mismo tema. Entre una y otra consulta, los expertos pueden reflexionar sobre sus propias opiniones como sobre las expresadas por otros expertos, permitiendo una mejora de sus respuestas.
- *Anonimato de los participantes*: Los expertos no tienen relaciones previas entre ellos. Incluso si existieran, no tendrían acceso a las respuestas individuales de cada experto. Hay una disociación entre la pregunta y el experto. Esto garantiza la neutralidad y elimina cualquier sesgo potencial relacionado con la reputación o la posición de liderazgo de algún miembro del grupo.
- *Feedback controlado*: Como se ha mencionado previamente, el método Delphi implica un proceso iterativo en el cual los expertos deben responder más de una vez. Entre una vez y otra, incluso si se formula la misma pregunta, los expertos pueden no dar la misma respuesta, ya que existe una variable influyente: el feedback. Después de cada pregunta se proporciona un feedback controlado por el responsable de la investigación basado en las respuestas de la pregunta anterior. Este feedback se comunica a todos los participantes para fomentar la reflexión y permitir posibles cambios de opinión.
- *Respuesta estadística del grupo*: La respuesta final integra todas las respuestas de todos los expertos.

#### 4.3.4. Premisas y postulados

Las premisas sobre las que se construye la técnica, que permite comprender la orientación del esfuerzo investigador, parte de los siguientes puntos clave:

1. El futuro se construye: El futuro no es una simple extrapolación del pasado, sino que es el resultado de complejas iteraciones entre muchas fuerzas diferentes. Influyen muchas cosas como la voluntad de construirlo.
2. El análisis tradicional, que se basa en el tratamiento de la información objetiva, bien extrapolándola hacia el futuro, bien detectando relaciones que se dan entre variables y construyendo modelos, presenta muchas limitaciones sobre todo cuando no se poseen datos o cuando esas relaciones caen o faltan datos de variables. Principalmente cuando hay cambios disruptivos.
3. En determinadas disciplinas y circunstancias es aconsejable el recurso al juicio subjetivo.
4. Esta técnica se basa en el juicio de expertos, estando sujeta a una serie de limitaciones, imperfecciones, sesgos...
5. En principio, el juicio de un grupo suele ser de más calidad que un juicio individual.
6. En la creación de un juicio de grupo cara a cara, hay efectos que tampoco son positivos, porque se entra en temas de elementos dominantes, personas con timidez que no son capaces de expresarse, problemas de estatus, mucho ruido, intercambio de información no vital..., limitando la calidad del resultado.

Los postulados que se admiten sin necesidad de demostración de esta metodología son los siguientes:

1. La información relevante acumulada por un grupo de expertos iguala o supera la de cualquier miembro individual del grupo.
2. La cantidad de información incorrecta acumulada por un grupo también iguala o supera la de cualquier miembro individual del mismo.
3. El número de procesos o modelos informales disponibles para que un grupo realice una estimación es al menos tan amplio como el que pueda tener cualquier miembro individual del grupo.

4. Asimismo, el número de procesos o modelos informales erróneos que un grupo puede aplicar para realizar una estimación es igual o mayor que el que pueda utilizar cualquier miembro individual del mismo.
5. La precisión de una estimación numérica dada en forma de mediana es al menos tan buena como la mitad de las respuestas individuales proporcionadas por los participantes del grupo.
6. Cuando se solicita una estimación numérica a un experto, es probable que este tenga en mente una distribución de probabilidad intuitiva y poco definida sobre dicha cantidad. Al proporcionar una cifra única, está ofreciendo alguna medida de la tendencia central de esa distribución. Teóricamente, una estimación más precisa podría obtenerse mediante la suma de las distribuciones individuales de los miembros de un grupo y seleccionando la media o la mediana de la distribución agregada obtenida como respuesta del grupo.
7. Al facilitar un feedback controlado y mantener el anonimato de los participantes en un proceso de grupo, se pueden eliminar gran parte de los efectos psicológicos no deseados que ocurren en los grupos de discusión cara a cara, sin renunciar por ello a sus principales ventajas.

#### **4.4. Metodología**

##### **4.4.1. Proceso**

A continuación, se resume el proceso de la metodología Delphi:

1. Identificación del problema: Se selecciona un tema o problema (objeto de pronóstico), el cual pueda ser tratado convenientemente por la metodología Delphi.
2. Selección de expertos: Un grupo coordinador encargado de realizar la investigación, identifica y contacta a un panel de expertos con conocimientos relevantes en el área de estudio.
3. Elaboración del cuestionario: Una vez asegurada la participación de los expertos, el grupo coordinador desarrollará un cuestionario Delphi que será enviado a los expertos, generalmente por correo, y estos responderán de manera individual y anónima. Las preguntas del cuestionario tienen que permitir realizar un tratamiento estadístico posterior para obtener una respuesta estadística grupal.

4. Análisis de las respuestas: el grupo coordinador recopila las respuestas de los expertos y procede a la agregación de las distintas estimaciones individuales, extrayendo una medida de tendencia central de la distribución obtenida, generalmente la mediana, que es tomada como respuesta del grupo. Si es posible, se debe indicar el rango intercuartílico de las respuestas como medida de dispersión.
5. Retroalimentación: Los expertos reciben la mediana y el rango intercuartílico de cada pregunta, junto con su respuesta individual previa. Opcionalmente, puede añadirse información adicional, proporcionada por algún experto o sugerida por el grupo coordinador. A continuación, se les solicita a los expertos que revisen, si lo consideran necesario, sus estimaciones iniciales. Si alguna respuesta está fuera del rango intercuartílico, se solicita al participante que explique sus razones. Estas explicaciones se envían luego a todo el panel, junto con la información previamente mencionada.
6. Segunda ronda: Los expertos vuelven a responder el cuestionario, teniendo en cuenta la retroalimentación recibida en la primera ronda.
7. Iteración: Este proceso se repetirá hasta que se observe una estabilidad en las respuestas, es decir, cuando la mediana apenas varíe y el rango intercuartílico deje de reducirse. Esta estabilidad es un indicador de que se ha alcanzado el máximo consenso.
8. Conclusión: Una vez que se ha alcanzado un nivel adecuado de acuerdo o convergencia entre los expertos, el grupo coordinador puede generar conclusiones finales o recomendaciones basadas en los resultados del proceso Delphi

Es importante destacar que el proceso Delphi puede variar en su duración, pero generalmente no suele extenderse más allá de dos o tres rondas para evitar la fatiga del panel de expertos y mantener la eficiencia del proceso.

#### **4.4.2. Grupo coordinador**

El grupo coordinador, compuesto por un equipo reducido de personas (de dos a cinco personas) con conocimiento tanto del objeto de estudio como de la técnica Delphi, es esencial para garantizar la efectividad del proceso. Sus responsabilidades incluyen:

1. Establecer el protocolo de trabajo.
2. Seleccionar y aprobar que expertos van a participar.
3. Diseñar los cuestionarios e impulsar la participación efectiva de los expertos.
4. Analizar las respuestas obtenidas, preparar los siguientes cuestionarios y facilitar el feedback oportuno.
5. Interpretar los resultados.
6. Supervisar la correcta ejecución de la investigación y proponer y tomar medidas correctoras, si fueran necesarias.

#### **4.4.3. Grupo de expertos**

El grupo de expertos representa el núcleo fundamental de la técnica Delphi, ya que son ellos quienes proporcionan la información que sustenta los resultados del proceso. La calidad de estos resultados depende en gran medida de la calidad y experiencia de los expertos involucrados.

##### **4.4.3.1. Definición y criterios de selección**

Determinar quién es considerado un experto es crucial. En el estudio inicial realizado por la RAND Corporation sobre el número de bombas, se buscaban individuos altamente especializados en el campo nuclear. Sin embargo, a medida que la técnica Delphi ha sido aplicada a una variedad de campos, el concepto de experto se ha ampliado.

En la actualidad, un experto puede ser cualquier persona que pueda contribuir con su conocimiento, experiencia y recursos hacia el logro del objetivo que motiva la aplicación del método Delphi. Esto significa que la definición de experto se adapta según las necesidades y alcance del estudio en cuestión.

##### Criterios de selección

1. Nivel de conocimientos: El experto debe poseer un conocimiento superior al promedio en el área específica de estudio.
2. Capacidad predictiva: Es especialmente relevante en Delphis que implican pronósticos o predicciones.
3. Impacto de las consecuencias del estudio: El grado en que el experto se ve afectado por las posibles consecuencias del tema en cuestión.

4. Capacidad facilitadora: El experto debe ser capaz de comprender y considerar diversas opiniones, facilitando la integración de los puntos de vista de distintos grupos de expertos.
5. Grado de motivación: Aunque no siempre se explícita, es un factor fundamental en la participación del experto en el proceso.
6. Otros factores: Incluyen consideraciones como los costos, la proximidad geográfica y la facilidad de participación en el estudio.

Según la función desempeñada dentro del proyecto, se pueden distinguir tres tipos de expertos:

- Expertos sabios o especialistas: Personas que contribuyen con conocimientos, experiencia, capacidad predictiva y objetividad. Comparten las mismas características que la definición inicial de experto.
- Expertos afectados: Individuos que, aunque no poseen conocimientos especializados en el área, se ven de alguna manera afectados por ella.
- Expertos facilitadores: Personas con habilidades de síntesis, capaces de estimular y organizar el proceso, sin necesidad de pertenecer a ninguna de las dos categorías anteriores.

#### **4.4.3.2. Número de expertos**

Pocos estudios bien elaborados han examinado a partir de qué número de expertos la calidad de los resultados comienza a estabilizarse. Los investigadores de la Rand Corporation llevaron a cabo estudios de tipo almanaque, en los cuales las respuestas ya eran conocidas, con el propósito de determinar este punto. Establecieron, de manera orientativa, un mínimo de 7 expertos por:

- Área de conocimiento representada
- Alcance geográfico
- Colectivos participantes
- Condiciones presupuestarias, temporales, organizativas...

Además, se debe considerar tanto la disponibilidad de un número suficiente de expertos válidos dispuestos a participar como las consideraciones organizativas,

presupuestarias y temporales. A menos que existan circunstancias excepcionales, no se recomienda contar con más de cincuenta expertos.

#### **4.4.3.3. Contacto con los expertos**

No existe mucha literatura ni una guía clara sobre este tema. Independientemente de cuál sea el medio de comunicación empleado para la toma de contacto con los expertos seleccionados al principio, la clave radica en que el tema sea interesante para los expertos y despierte su interés. Si se dispone de mucho dinero, es posible que acepten participar por la compensación económica, pero esto no es lo habitual. Si bien contar con una sólida red social, buenos patrocinadores y contactos influyentes puede facilitar el proceso, no garantiza la contribución real y sostenida de conocimientos por parte de los expertos.

Lo que verdaderamente garantiza la participación efectiva de los expertos a lo largo de toda la investigación es que sientan que están obteniendo beneficios al participar. Se trata de seducir, de ponerse en su lugar y entender por qué deberían querer contribuir a la investigación. Por lo general, los expertos están dispuestos a participar si creen que van a aprender algo nuevo y valioso, tanto de la información que se les solicita como de las aportaciones de otros expertos.

En los Delphis profesionales, las personas suelen tener poco tiempo y, a menos que el tema les resulte interesante, es poco probable que quieran participar. Es esencial que perciban un beneficio claro para ellos mismos al participar, y que vean la participación como una situación de "win-win". Es importante no solo considerar lo que se desea obtener de los expertos, sino también entender qué necesitan ellos y ofrecérselo de manera que la colaboración resulte mutuamente beneficiosa.

#### **4.4.3.4. Evaluación de la pericia de los expertos**

Para determinar quiénes son los expertos y evaluar su pericia e idoneidad, se diferencian dos etapas:

1. Previamente al proceso:

- a) Indicadores indirectos del nivel de conocimientos/capacidad predictiva de los expertos: número y calidad de publicaciones relacionadas, experiencia ...
- b) Grupos de expertos
- c) Bola de nieve
- d) Autoselección de afectados
- e) Autoselección de colectivos
- f) Test directos

## 2. Durante el proceso:

- a) Autovaloración: Aunque pueda parecer contradictorio evaluar a un experto previamente seleccionado, durante el proceso pueden surgir preguntas que el experto desconozca. Por lo tanto, se le ofrece la opción de autoevaluarse.
- b) Valoración subjetiva externa: El grupo coordinador supervisará si se consideran las respuestas de los expertos, si se les otorga diferentes ponderaciones, o si se calcula un promedio basado en el nivel de experiencia del grupo. Además, puede llevarse a cabo una evaluación por parte de un equipo externo o una revisión cruzada entre los miembros del panel.

### 4.4.4. Obtención y transmisión de la información

La obtención y transmisión de la información constituyen el núcleo central del desarrollo de la técnica, el cual se compone de varias fases:

- Formulación de preguntas
- Integración de las opiniones individuales
- Feedback

#### 4.4.4.1. Formulación de preguntas

Ya se conocen las claves para dirigir el estudio:

1. La participación de individuos expertos tanto en la metodología Delphi como en el objeto de estudio, dado que la intervención del investigador puede tener un impacto significativo en los resultados. No considerar esto representa dos peligros.
2. Se conocen los expertos que van a participar.

A continuación, se procederá a determinar qué preguntas se les formularán a estos expertos mediante un cuestionario

- Cuestionario 1: Preguntas abiertas preparatorias de las preguntas Delphi (Opcional)

Antes de formular las preguntas Delphi para el análisis estadístico, se plantean preguntas previas abiertas. Estas preguntas preliminares sirven como base para extraer las preguntas Delphi pertinentes. A partir de estas preguntas preliminares se obtiene un conjunto de posibles soluciones, medidas, problemas, competencias, etc. El equipo coordinador se encargará de realizar una selección de ese listado, eliminando las repeticiones y determinando cuáles son las opciones más importantes, relevantes y mencionadas con mayor frecuencia por los expertos. Es importante destacar que la creación de este conjunto de opciones ha sido influenciada principalmente por los propios expertos y no tanto por el grupo coordinador.

- Cuestión 2: Preguntas Delphi

Las preguntas puras del método Delphi son preguntas cerradas, concebidas para facilitar un análisis estadístico posterior. Cuando se habla de preguntas cerradas, hace referencia a la estimación de una cantidad, estimación de un año, valoración, evaluación o jerarquización de una propuesta.

Opcionalmente, además de las preguntas cerradas, se puede proporcionar datos objetivos para orientar las preguntas. Este enfoque es crucial para asegurar la uniformidad en las respuestas de los expertos, evitando confusiones. Además, resulta relevante en ocasiones en las que puede resultar difícil responder sin tener datos actualizados, incluso para los expertos en el tema.

Es habitual también incluir una sección abierta en estas preguntas iniciales, donde los expertos puedan aportar información cualitativa y cuantitativa que respalde sus respuestas. Esta información se utilizará como parte del feedback que se proporcionará posteriormente. En la segunda ronda, cuando se replantee la pregunta, se incorporará tanto la información cuantitativa como cualitativa obtenida en la ronda anterior. Este feedback será gestionado por el equipo coordinador y será

recibido por los expertos para que puedan expresar sus opiniones nuevamente con una mayor cantidad de información disponible.

Este tipo de preguntas se pueden clasificar en dos grupos generales:

- Jerarquización, valuaciones o comparaciones. Una vez que se ha entregado la lista de ítems, se solicita a los expertos que, de acuerdo con el criterio establecido, elijan una de las siguientes opciones para cada uno de ellos.
  - Ordenarlos (Jerarquización): Asignar a cada ítem una posición según su mayor o menor proximidad al criterio de referencia.
  - Valorarlos (Valuación): La evaluación se realiza otorgando votos o puntuaciones según una escala predefinida. Esta metodología presenta dos ventajas adicionales:
    - Facilita la respuesta en casos de un alto número de ítems.
    - Los valores asignados a cada ítem proporcionan más información sobre el juicio del experto, incluso cuando se presente como una clasificación ordenada.
  - Compararlos (Comparación): Se comparan todos los ítems entre sí en pares. Esta opción es menos común, pero útil cuando a los expertos les resulta difícil jerarquizar o valorar los ítems de manera diferenciada.
- Estimaciones cuantitativas: Son las más comunes y se dividen en:
  - Estimaciones puntuales: Consisten en una valoración numérica del objeto de la pregunta. Se subdividen en:
    - Estimaciones absolutas: Se especifica una característica cuantitativa, generalmente futura, de un evento específico.
    - Estimaciones probabilísticas: Se establece un nivel acumulativo de probabilidad y se determina un valor, o bien, se estima la probabilidad de ocurrencia de un valor específico.
  - Estimaciones no puntuales: En ocasiones, los expertos pueden considerar inapropiado proporcionar una predicción concreta. En estos casos, es posible expresar la opinión mediante intervalos de confianza.
    - Intervalos de confianza: El experto estima que el valor se encontrará dentro de ciertos límites, con un determinado nivel de confianza.

- Tripletas de confianza: Se trata de un intervalo de confianza que incluye, además, el valor que el experto considera más probable.

Consejos para la formulación de las preguntas:

- Preguntas claras y concisas
- Testear previamente (Pretest)
- Orientadas a valorar, jerarquizar, comparar o hacer estimaciones cuantitativas
- Items procedentes de preguntas abiertas anteriores mejor, ya que hay menos intervención del grupo coordinador
- Adaptada al grupo que responde y no al que formula la pregunta.
- No hacer demasiadas preguntas, porque la técnica Delphi es muy demandante (menos de 30 preguntas).

#### **4.4.4.2. Integración de opiniones individuales**

Después de recopilar las respuestas, se procede al primer análisis intermedio. Dado que se ha planteado un enfoque cuantitativo, el grupo coordinador combina las respuestas para calcular una medida de tendencia central. Normalmente, se prefiere utilizar la mediana, aunque también puede ser la media. La elección de la mediana se justifica porque busca representar la tendencia central sin ser demasiado influenciada por valores extremos.

Se calculará la mediana de las posiciones para la jerarquización, así como la mediana de las valoraciones, estimaciones puntuales y estimaciones no puntuales. Además, es importante acompañar estas medidas de tendencia central con medidas de dispersión, como el rango intercuartílico, la desviación típica o la varianza.

Finalmente, se realizará un análisis, interpretación y organización de la información cualitativa recibida para completar el proceso

#### **4.4.4.3. Feedback**

Es una característica básica de este método, que está relacionada con los cambios de opinión de los miembros del panel. Constituye el único canal de

comunicación disponible entre los participantes y la calidad del resultado final dependerá en gran medida de su correcto desempeño.

### Orígenes o fuentes del feedback

Al comenzar la siguiente ronda, se envía nuevamente a los expertos la pregunta inicial junto el feedback de los resultados obtenidos en la ronda anterior. Los orígenes de la información que se retroalimenta pueden ser diferentes:

- Información cuantitativa indicadora de la opinión general del grupo (Mediana y cuartiles, generalmente).
- Información, comentarios, razonamientos aportados por los expertos (mediados por los coordinadores).
- Información aportada por el propio grupo coordinador.
- Respuesta del experto en la ronda anterior (Optativo).

Independientemente del tipo de información, el feedback es siempre controlado por el equipo coordinador. Su tarea implica interpretar opiniones, argumentos y datos, y en la medida de lo posible, proporcionar información pertinente. Además, deben determinar la relevancia de la información y, en función de ello, comunicarla a los expertos.

### Utilidad del feedback

- Contribuye a la obtención de resultados de grupo de mayor calidad. Como en cualquier técnica de grupo, se pretende que el resultado final sea superior a la suma de las aportaciones individuales; siendo el feedback el responsable de que este fenómeno ocurra.
- Facilita la consecución de opiniones o estimaciones de grupo más consensuadas. Mayor convergencia en las estimaciones individuales de los expertos, al haber sido construidas con una base más similar.
- Suministra información útil a los propios promotores del estudio sobre reacciones esperables de los afectados por las consecuencias reales posteriores al estudio.

### Forma del feedback

Las contribuciones del feedback pueden variar según el qué, cómo y cuándo se lleve a cabo, lo que influirá en la calidad del resultado obtenido.

- Contenido del feedback (Qué)
  - La esencia de la interacción y la principal fuente de mejora proviene de la información generada por el propio panel de expertos, por lo tanto, es recomendable que los expertos fundamenten sus opiniones.
  - Únicamente el grupo coordinador debería aportar información adicional objetiva si se considera que sería beneficioso.
  - En el método Delphi, es común proporcionar la mediana y los cuartiles como información, aunque esto puede no añadir mucho valor en términos de enriquecimiento del proceso. Sin embargo, se ha demostrado que esta información mejora la precisión y la convergencia de las respuestas. Es importante tener en cuenta que esta homogeneidad puede ser causada por presión externa.
- Medio de transmisión del feedback (Cómo)
  - Normalmente se suele emplear el mismo soporte empleado que en la ronda inicial.
  - Es muy importante presentar la información de manera que despierte interés en el experto.
- Momento de transmisión (Cuándo)
  - Antelación o simultáneamente a la remisión de las preguntas Delphi.
  - A la mayor brevedad posible.

#### **4.4.5. Fin del proceso**

##### **4.4.5.1. Criterios para la finalización del proceso iterativo**

En los estudios Delphi, las respuestas de los panelistas tienden a converger a medida que avanza el proceso, indicando un equilibrio casi estático después de algunas rondas. Sin embargo, más allá de cierto punto, los resultados pueden empeorar en lugar de mejorar. Por lo tanto, es esencial establecer criterios precisos para determinar el número óptimo de rondas.

##### **1. Criterio clásico: El consenso**

El criterio considerado desde los orígenes para finalizar el proceso en el método Delphi es lograr un consenso entre las opiniones de los panelistas, indicado por una convergencia adecuada de las estimaciones individuales, evidenciada por un rango intercuartílico reducido. Si la convergencia no es suficiente, el proceso se prolonga en espera de alcanzar un consenso razonable mediante el feedback y la interacción entre los expertos.

Sin embargo, este enfoque corre el riesgo de ignorar las opiniones de subgrupos y de presionar demasiado hacia la convergencia, lo que puede llevar a consensos ficticios y pérdida de información. Por lo tanto, se necesita un análisis cuidadoso de las distribuciones de respuestas que no convergen fácilmente.

## 2. Criterio recomendable: La estabilidad

La estabilidad de las estimaciones se propone como un criterio alternativo de finalización en el método Delphi, especialmente debido al riesgo de consensos ficticios y a la ampliación de los objetivos del método. Este criterio implica que las opiniones de los expertos no varíen significativamente en rondas sucesivas, independientemente del grado de convergencia alcanzado. Esta distinción separa el objetivo del estudio (alcanzar un consenso o identificar diferentes posiciones) del criterio de finalización (lograr un nivel de estabilidad). El sentido de "mayoría" se refiere a la convergencia aceptable de opiniones de un grupo suficiente de expertos, dejando al investigador especificar el nivel de exigencia necesario para considerarla aceptable.

Una vez establecida la estabilidad como criterio de finalización en el método Delphi, es importante considerar cómo medir este nivel de estabilidad entre rondas sucesivas y seleccionar un punto de referencia que indique cuándo se ha alcanzado una estabilidad suficiente. Se han propuesto varias soluciones, mayormente centradas en medir la estabilidad grupal en lugar de la estabilidad individual de cada experto.

- a) *Variación del coeficiente de variación* ( $v$ ) de las respuestas y prefijar un nivel arbitrario de reducción como referencia para la finalización.

$$\text{Variación } v = v_k - v_{k-1}$$

Ecuación 1: Variación del coeficiente de variación

Cuando la disminución del coeficiente entre rondas sea menor que el nivel prefijado, se considerará que se ha alcanzado un nivel satisfactorio de estabilidad y se detendrá el proceso. Sin embargo, este enfoque presenta inconvenientes, como el uso de la media y la desviación típica en lugar de la mediana y el rango intercuartílico, y la subjetividad en la determinación del nivel de referencia.

- b) Variación del recorrido intercuartílico relativo de la distribución de las respuestas de dos rondas sucesivas:

$$\text{Variación } RIR = (RIR_k - RIR_{k-1})$$

Ecuación 2: Variación del recorrido intercuartílico

La regla de decisión es la misma que en el caso anterior, pero en este caso se trabaja con mediana y cuartiles.

- c) *Variación relativa de la mediana*, entre dos rondas contiguas:

$$\text{Variación } Me = (Me_k - Me_{k-1})/Me_{k-1}$$

Ecuación 3: Variación relativa de la mediana

Utiliza el mismo criterio de finalización que los casos anteriores, basado en la reducción de la variación del coeficiente de variación entre rondas sucesivas. Sin embargo, su inconveniente adicional radica en que solo considera la variación de una medida de tendencia central, sin tener en cuenta la variación en la dispersión de las respuestas.

- d) *Comparación de varianzas* mediante una *constante F de Snedecor*. Si no hay diferencias significativas entre las varianzas de las respuestas en dos rondas consecutivas, se considera que el proceso ha concluido. Sin embargo, el principal inconveniente radica en que el test F se recomienda para muestras independientes que sigan distribuciones normales, condiciones que no se cumplen en este caso.

- e) *Test  $X^2$  no paramétrico*. El procedimiento compara las frecuencias esperadas para cada intervalo de respuestas, asumiendo estabilidad absoluta, con las frecuencias observadas. El estadístico utilizado es el siguiente:

$$X^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Ecuación 4: Test X2 no paramétrico

- f) *Proporción de expertos que modifican su estimación*. Cuando el porcentaje mencionado es menor que un nivel predeterminado, se considera que se ha logrado un grado adecuado de estabilidad. Este enfoque es simple, flexible y aplicable a cualquier grupo de expertos y tipo de preguntas. Además, evalúa la estabilidad individual de las respuestas. Sin embargo, su principal inconveniente es la arbitrariedad al fijar el nivel de referencia.
- g) *Índice de asociación predictiva*. Este índice es apropiado en situaciones donde el contraste  $X^2$  no puede emplearse, es decir, cuando las frecuencias de los intervalos son demasiado bajas.

La fórmula de este índice que permite medir el nivel de estabilidad individual entre dos rondas Delphi consecutivas es:

$$I = \frac{\sum_j \max_k O_{jk} - \max_k O_{.k}}{n - \max_k O_{.k}}$$

Ecuación 5: Índice de asociación predictiva

Donde:

$O_{jk}$  = frecuencia de expertos que han respondido que, habiendo votado por el intervalo j en la ronda i, votan por el intervalo k en la ronda i + 1;

$\max_k O_{jk}$  = frecuencia mayor para intervalo de respuestas j en la ronda i;

$\max_k O_{.k}$  = frecuencia mayor total de entre todos los k intervalos de respuestas en la ronda i + 1.

El índice variará desde 1, que indica una asociación predictiva completa y estabilidad, hasta 0, que indica falta de asociación y falta de estabilidad individual.

### 3. Criterio práctico: número preestablecido de rondas

La práctica más común en el proceso Delphi es predefinir el número de rondas, aunque lo más adecuado sería utilizar el criterio de estabilidad para finalizar el proceso. Sin embargo, pocos artículos sobre aplicaciones Delphi especifican este criterio, siendo habitualmente dos o tres rondas, presumiblemente establecidas por limitaciones temporales, presupuestarias o de compromiso de los expertos. Aunque este enfoque no es metodológicamente recomendable, es ampliamente utilizado en la práctica.

#### 4.4.5.2. Análisis de los resultados

- Análisis Cuantitativo de la Distribución de las Respuestas
  - Posiciones Mayoritarias:
    - Medianas: Identificar el valor central en la distribución de las respuestas, que refleja la opinión más representativa del grupo de expertos.
    - Medias: Calcular el promedio de las respuestas para determinar la tendencia central general del panel de expertos.
  - Posiciones Controvertidas:
    - Rango Intercuartílico
    - Varianzas
    - Desviación Típica
    - Desviación Media
  - Existencia de Subgrupos Diferenciados: Identificar posibles subgrupos dentro del panel de expertos que puedan tener opiniones significativamente diferentes. Esto puede hacerse mediante técnicas de agrupamiento o análisis de segmentación, que revelen patrones de respuestas similares dentro de ciertos subgrupos de expertos.
- Análisis Global
  - Integración del análisis cuantitativo con el análisis cualitativo:
    - Combinar los hallazgos cuantitativos con las aportaciones cualitativas proporcionadas por los expertos. Las respuestas cualitativas pueden proporcionar un contexto adicional y explicar las razones detrás de ciertas posiciones mayoritarias o controvertidas.

- Analizar comentarios, justificaciones y explicaciones detalladas de los expertos para enriquecer la comprensión de los datos cuantitativos.
- Percepciones de los coordinadores:
  - Incluir las observaciones y percepciones de los coordinadores del estudio para obtener una visión holística de los resultados. Los coordinadores pueden ofrecer perspectivas sobre la dinámica del panel, la consistencia de las respuestas a lo largo del tiempo y la calidad de la participación.
  - Evaluar la coherencia entre los resultados cuantitativos y cualitativos, y cómo estas percepciones alinean o divergen de las expectativas iniciales del estudio.

#### **4.4.5.3. Valoración de la calidad de los resultados**

Para evaluar la calidad de los resultados de un estudio Delphi, se consideran los siguientes criterios:

1. Estabilidad y Calidad del Panel: Asegurarse de que los expertos involucrados sean altamente conocedores y respetados en el campo relevante. Si es posible, revelar sus identidades o destacar sus cualificaciones para fortalecer la credibilidad. Por otro, la estabilidad entre rondas es crucial. Si el número de expertos que participan en la primera ronda se mantiene constante en las rondas siguientes, esto indica un alto nivel de compromiso. Sin embargo, una disminución significativa en la participación puede sesgar los resultados y comprometer la validez del estudio.
2. Intervalo de tiempo entre rondas: Minimizar el tiempo entre rondas para mantener la consistencia. Intervalos prolongados pueden llevar a cambios en las opiniones debido a nueva información o contextos cambiantes, dificultando determinar si las respuestas son consistentes o alteradas contextualmente.
3. Información cualitativa: Un estudio Delphi que carece de retroalimentación cualitativa de los expertos es sospechoso. Explicaciones detalladas o conocimientos adicionales que acompañen sus respuestas mejoran la fiabilidad del estudio. Si la retroalimentación en la segunda ronda es únicamente cuantitativa (medianas, cuartiles, medias, desviaciones estándar), sugiere un mínimo compromiso y reflexión, lo que puede reducir la confianza en los hallazgos.

4. Consenso/convergencia de opiniones: Generalmente, el consenso aumenta y la dispersión disminuye en la segunda o tercera ronda, ya que los participantes refinan sus opiniones. Esta convergencia es un indicador positivo de la robustez del estudio.
5. Valoración positiva de los propios expertos: Incluye una encuesta integral en la segunda o tercera ronda para evaluar la satisfacción de los expertos con el proceso. Su evaluación positiva puede validar aún más la calidad y credibilidad del estudio.

#### **4.4.5.4. Información y comunicación de los resultados**

El último paso del proceso es comunicar los resultados a todas las partes involucradas. A pesar de que el trabajo esté completo, es fundamental dedicar atención a este punto final, ya que puede resaltar o disminuir el esfuerzo realizado hasta el momento y demostrar la seriedad del proceso. El informe final debe contener una serie de contenidos detallados, como se describe a continuación:

- a) Descripción del contexto del estudio, objetivos buscados y síntesis de la metodología Delphi.
- b) Detalles técnicos de los participantes, incluyendo la composición del equipo coordinador y la formación del panel de expertos, con criterios de selección, cantidad contactada y número real de participantes, perfiles profesionales, edades, entre otros aspectos relevantes, con información adicional sobre bajas y reposiciones si corresponde.
- c) Descripción de la evolución de las opiniones a lo largo de las rondas, destacando los movimientos más relevantes mediante medianas, medias, rango intercuartílico, desviación típica, gráficos, entre otros.
- d) Presentación de los resultados finales, incluyendo las opiniones mayoritarias, su grado de consenso y otras posturas significativas no mayoritarias.
- e) Análisis por subgrupos, que incorpora contrastes estadísticos y justificación de los comportamientos diferenciados.
- f) Explicación de los escenarios o realidades consensuadas que sustentan estos resultados, ofreciendo la perspectiva necesaria para su adecuada interpretación.

Es importante tener en cuenta que el equipo coordinador es el único que tiene toda la información, por lo que debe transmitirla de manera clara y atractiva a los promotores del estudio, terceros interesados y, especialmente, a los participantes, quienes a menudo participan a cambio de este informe final como única recompensa.

Un informe final claro, organizado, argumentado y presentado preferiblemente en un encuentro interactivo entre todas las partes involucradas, debe ser el cierre de un trabajo serio y científico que se ha llevado a cabo gracias a la colaboración de diversas personas.

## 5. APLICACIÓN PRACTICA DEL MÉTODO DELPHI

Después de identificar y analizar el sector del hidrógeno verde en España donde se anticipan cambios significativos, y tras seleccionar y detallar la metodología Delphi para prever estos cambios, se procede a su implementación.

### 5.1. Características

El Método Delphi es un proceso sistemático e iterativo dirigido a obtener las opiniones y, si es posible, el consenso de un grupo de expertos.

Las características fundamentales que distinguen el Método Delphi de otras técnicas grupales son:

- **Proceso iterativo:** Fundamental para buscar una mayor precisión en los resultados; se consultarán a los expertos en dos ocasiones.
- *Anonimato de los participantes:* La comunicación con los expertos se realizará de manera individual, sin compartir información personal en ningún momento.
- *Feedback controlado:* Tras recibir las primeras respuestas, se analizarán y se proporcionará información pertinente a cada experto en la segunda ronda, permitiendo la posibilidad de cambiar de opinión
- *Respuesta estadística del grupo:* Se emplearán datos numéricos para caracterizar las respuestas individuales y obtener una visión colectiva.

## **5.2. Metodología**

### **5.2.1. Proceso**

El método Delphi se inicia ante la incertidumbre en el sector del hidrógeno verde en España y la necesidad de aclararla.

El proceso a seguir se estructura de la siguiente manera:

1. Establecimiento del grupo coordinador.
2. Revisión del estado actual del tema en cuestión.
3. Elaboración del cuestionario.
4. Selección y convocatoria del panel de expertos.
5. Contacto inicial con los expertos y envío del cuestionario.
6. Recepción y análisis de las respuestas iniciales.
7. Retroalimentación a los expertos con la información pertinente.
8. Recepción de las respuestas actualizadas y análisis correspondiente.
9. Redacción del informe final y conclusiones del trabajo de grado.

### **5.2.2. Grupo coordinador**

Como se mencionó previamente, este grupo estará conformado por un número reducido de integrantes quienes son conocedores de la metodología Delphi y del objeto del estudio. En este caso, el grupo coordinador estará compuesto por el profesor Don Manuel Aranda Ogáyar y el alumno José Antonio Marín Martínez.

Dado que se trata de un trabajo de fin de grado, las funciones asignadas serán las siguientes:

- Don Manuel Aranda Ogáyar: en calidad de tutor del proyecto, posee un amplio conocimiento sobre el método y debe orientar, supervisar y corregir todo el proceso.
- José Antonio Marín Martínez: responsable de realizar un estudio detallado del tema seleccionado y de la metodología, proponer preguntas relevantes, analizar las respuestas obtenidas y elaborar el informe final.

### **5.2.3. Grupo de expertos**

#### **5.2.3.1. ¿Quién es considerado como experto?**

El panel de expertos ha sido seleccionado teniendo en cuenta el grado de conocimiento de la materia objeto de estudio, su experiencia y objetividad en relación con el hidrógeno verde. Los expertos que responden a estas características son los que en términos del proceso Delphi se conocen como "especialistas". La preponderancia de este tipo de expertos se debe a que la naturaleza del problema a tratar es la obtención de información futura de hechos externos a los participantes en el proceso, como es la previsión de la situación del hidrógeno verde en España.

El carácter multidisciplinar del propio proceso de adopción del hidrógeno verde en España, así como el elevado número de variables que determinan y condicionan su evolución y las interrelaciones existentes entre éstas, hacen necesaria la incorporación de expertos con diferentes enfoques del problema. Por ello, hemos realizado la selección del panel, teniendo especial cuidado en la incorporación de expertos de diferentes áreas de actividad relacionadas con el hidrógeno verde, con el fin de lograr una visión global y de esta forma evitar que los resultados estén sesgados o influenciados por opiniones o perspectivas específicas, permitiendo así obtener conclusiones más objetivas y confiables.

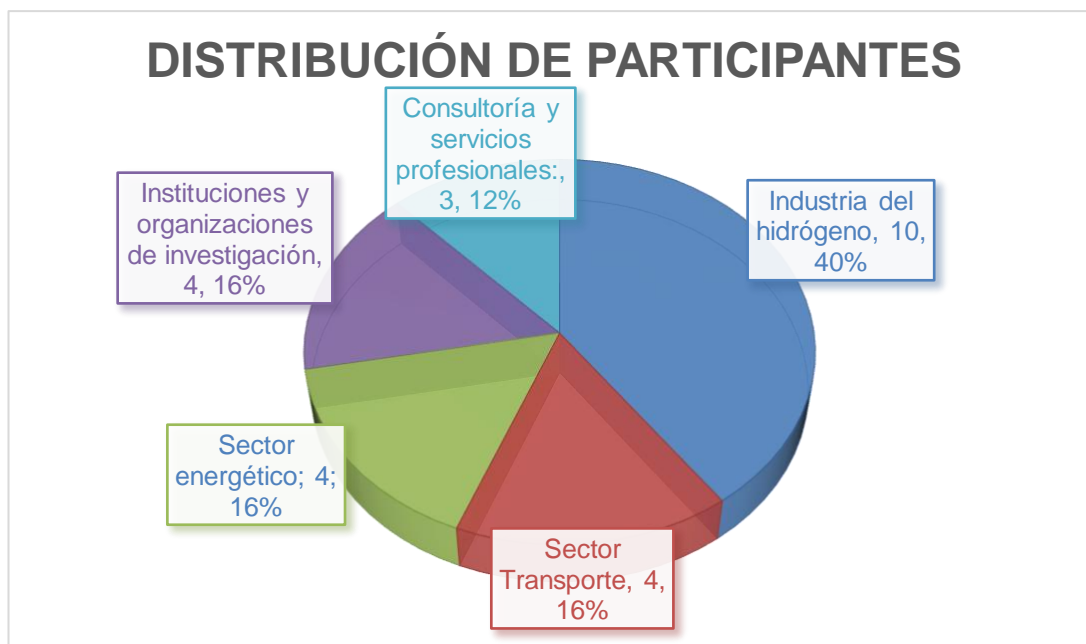
#### **5.2.3.2. Número óptimo de expertos**

Un amplio y diverso grupo de más de 60 expertos fue invitado a participar en el estudio Delphi sobre el futuro del hidrógeno verde en España. De este grupo, 25 expertos han sido los que han contribuido al estudio, proporcionando sus respuestas en dos ocasiones al cuestionario.

En el panel de expertos se pueden distinguir cinco grandes grupos, correspondientes a los distintos ámbitos que se ha considerado necesario incluir: Industria del hidrógeno, Sector transporte, Instituciones y organizaciones de investigación, empresas energéticas y consultoría y servicios profesionales.

La distribución por grupos del número de expertos con el que hemos contactado se muestra en la siguiente gráfica:

### 5.2.3.3. Contacto con los expertos



El contacto formal con los expertos se estableció a través del correo electrónico, mediante el envío de una carta de presentación que se muestra a continuación. Sin embargo, con algunos de los expertos se mantuvo un contacto informal previo mediante redes sociales.

Carta de presentación

Estimado Sr./Sra.

Mi nombre es José Antonio Marín Martínez, estudiante del grado en Ingeniería de Organización Industrial en la Universidad de Jaén. En la actualidad, me encuentro realizando mi Trabajo de Fin de Grado. El enfoque de mi investigación se centra en explorar el potencial futuro del hidrógeno verde en España utilizando el método Delphi.

Me dirijo a usted con el fin de invitarle a formar parte del panel de expertos de este trabajo, dada su destacada experiencia en el campo mencionado anteriormente.

Durante todo el proceso, se garantizará el anonimato y se tratará la información de manera confidencial. Únicamente en el informe final se reflejará el número total de expertos participantes y las conclusiones obtenidas. Una vez finalizado el proceso, el informe será compartido con todos los participantes.

Agradecería mucho su colaboración al responder al cuestionario antes del 15 de abril, accediendo al siguiente enlace:

[\[ENLACE\]](#)

Le agradezco de antemano por su tiempo y consideración. Quedo a su disposición para cualquier consulta o aclaración que pueda necesitar.

Atentamente,

José Antonio Marín Martínez

Ingeniería de Organización Industrial

Universidad de Jaén

#### **5.2.3.4. Evaluación del conocimiento de los expertos**

Para seleccionar a los expertos, se realizó una evaluación de currículums y trayectoria profesional. Este proceso incluyó:

##### **1. Revisión Detallada de Currículums:**

- Análisis de la formación académica y profesional de cada candidato.
- Evaluación de la experiencia específica en el campo del hidrógeno verde, incluyendo proyectos relevantes, publicaciones y desarrollos tecnológicos.

##### **2. Trayectoria Profesional:**

- Revisión de los roles desempeñados en sus respectivas organizaciones y el impacto de su trabajo en el sector.
- Consideración de su participación en conferencias, seminarios y su contribución a la difusión del conocimiento sobre hidrógeno verde.

- Evaluación de las colaboraciones con otras entidades, tanto académicas como industriales, y su capacidad de liderazgo en proyectos de innovación y desarrollo.

### 3. Reputación y Reconocimiento:

- Verificación de premios, reconocimientos y menciones en el ámbito profesional y académico.
- Consulta de recomendaciones y testimonios de otros profesionales y organizaciones del sector.

### 4. Diversidad de Sectores:

- Asegurar la inclusión de expertos de diversos sectores relacionados con el hidrógeno verde, como transporte, energía, investigación, consultoría y la industria del hidrógeno.

## 5.2.4. Obtención y transmisión de la información

### 5.2.4.1. Formulación de las preguntas

Este apartado se ha desarrollado con el objetivo de formular preguntas claras y concisas que sean fácilmente comprensibles y no condicionen las respuestas. Asimismo, se han estructurado de manera que permitan la integración numérica y objetiva de las respuestas obtenidas.

El estudio Delphi se ha programado para el año 2040, alineado con la tercera fase (2030-2050) de la Estrategia Europea del Hidrógeno. Se anticipa que, para entonces, las tecnologías de hidrógeno renovable habrán alcanzado la madurez y se habrán desplegado a gran escala. Esto permitirá evaluar el progreso durante esta etapa crítica de desarrollo y despliegue masivo del hidrógeno verde, así como su contribución a los objetivos de neutralidad climática para 2050. En resumen, la elección del año 2040 se justifica por la mayor madurez de las tecnologías, la necesidad de evaluar el impacto a largo plazo y el cumplimiento de los objetivos climáticos.

### Listado de Preguntas

1. ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, el papel del hidrógeno verde sea mínimo, limitándose principalmente a la validación de tecnología y proyectos de investigación y desarrollo, a pesar de la disponibilidad de energías renovables y el potencial de reducción de gases de efecto invernadero?
2. ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, el hidrógeno verde gane una relevancia creciente en las industrias difíciles de descarbonizar debido a sus propiedades físicas, su amplia variedad de aplicaciones y su complementariedad con la electricidad baja en carbono?
3. ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se observe una transformación donde el hidrógeno verde satisfaga cada vez más la demanda, incluso en áreas que históricamente han sido difíciles de abastecer con hidrógeno?
4. ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se haya logrado una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero gracias al uso generalizado de hidrógeno verde?
5. ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 en España se haya desarrollado ampliamente la cadena de valor de la economía del hidrógeno, consolidando al país como referente tecnológico?
6. ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se hayan desarrollado tecnologías de almacenamiento de energía basadas en hidrógeno verde a gran escala, demostrando ser una solución eficaz para la integración de energías renovables intermitentes en el sistema energético español?
7. ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, se haya reducido significativamente la dependencia de importaciones energéticas fósiles mediante la producción autóctona de hidrógeno renovable?
8. ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040, España se convierta en uno de los principales productores y exportadores de hidrógeno verde en Europa?
9. ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, el hidrógeno verde juegue un papel significativo en la descarbonización de sistemas energéticos aislados, con un enfoque especial en territorios insulares?
10. ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, se logre potenciar la investigación, desarrollo e innovación en el ámbito energético, fortaleciendo el

liderazgo de las empresas e industrias españolas en tecnologías relacionadas con el hidrógeno renovable?

11. ¿Qué probabilidad existe de que, en España, para el año 2040, se genere una demanda significativa de hidrogeno verde que permita alcanzar un equilibrio adecuado entre la oferta y la demanda, facilitando así la consolidación de un mercado del hidrógeno?
12. ¿Cuál es la probabilidad de que, en España, para el año 2040, las autoridades locales, en colaboración con la industria y las empresas del sector energético, hayan realizado una gran cantidad de proyectos de demostración de hidrógeno para promover el crecimiento de las comunidades relacionadas con esta tecnología?
13. ¿Cuál es la probabilidad de que el hidrógeno verde haya alcanzado un alto nivel de aceptación pública y apoyo para 2040 en España?
14. ¿Qué tan probable es que España pueda atraer inversores a su economía de hidrógeno verde para el año 2040, considerando la necesidad de una hoja de ruta clara, garantías sólidas para las inversiones y una planificación adecuada para cumplir con los objetivos energéticos a largo plazo?
15. ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 en España se realice una adaptación efectiva de las infraestructuras gasistas para el almacenamiento y transporte de hidrógeno y gases sintéticos?
16. ¿Qué probabilidad asignarías a que para el año 2040 en España se implementen regulaciones específicas y normativas técnicas que impulsen el despliegue de tecnologías del hidrógeno, abordando aspectos de seguridad y condiciones de uso?
17. ¿Qué tan probable es que en España se establezcan regulaciones tarifarias e impositivas favorables para el hidrógeno como producto energético, considerando su potencial para sustituir fuentes de energía convencionales, para el año 2040?
18. ¿Cuál es la probabilidad de que el hidrógeno verde haya contribuido de manera significativa a la creación de empleo en España para 2040?
19. ¿Qué probabilidad hay de que España tenga acceso a una amplia oferta de energías renovables de bajo coste para el año 2040?

20. ¿Cuál es la probabilidad de que el tamaño del mercado de hidrógeno verde en España para el año 2040 represente más del 20% del consumo total de energía final?
21. ¿Qué tan de acuerdo está con la siguiente afirmación? Declaración: Hacia 2040, el hidrógeno azul será un trampolín necesario hacia el hidrógeno verde.
22. ¿Cuál es la probabilidad de que España haya desarrollado una infraestructura de almacenamiento y distribución de hidrógeno verde a gran escala para 2040?
23. ¿Qué tan probable es que España haya establecido programas de capacitación y educación para fomentar el desarrollo de habilidades relacionadas con el hidrógeno verde para 2040?
24. ¿Qué probabilidad hay de que España logre alcanzar los objetivos establecidos en su hoja de ruta para el año 2040, teniendo en cuenta las proyecciones actuales?
25. ¿Qué tan probable es que, en España, para el horizonte 2040, el costo del hidrógeno verde sea competitivo con otras fuentes de energía?
26. ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 los sectores industriales en España, que necesitan grandes cantidades de hidrógeno y son difíciles de descarbonizar, utilicen mayoritariamente hidrógeno verde? (sectores industriales como el refinado de petróleo, la industria del hierro y el acero o la industria química)
27. ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, los vehículos propulsados por hidrógeno con pila de combustible sean competitivos con los vehículos eléctricos (vehículos ligeros), considerando factores como la pérdida de conversión del hidrógeno verde, la caída del precio de las baterías y la escasez de hidrogeneras?
28. ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para promover el uso del hidrógeno en el transporte terrestre (vehículos pesados), incluyendo la colaboración internacional, incentivos a la compra de vehículos, desarrollo de infraestructura y apoyo a la industria automotriz?
29. ¿Qué probabilidad asignarías, a que para el año 2040 en España se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para promover el uso del hidrógeno en el transporte marítimo, incluyendo la creación de reglas claras de homologación, el desarrollo de infraestructura portuaria de repostaje de

hidrógeno, la promoción de tecnologías cero emisiones en los puertos y la asignación de ayudas para la construcción de buques impulsados por hidrógeno?

30. ¿Qué probabilidad asignarías, a que para el año 2040 en España se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para fomentar el uso de hidrógeno renovable y biocombustibles de nueva generación en el transporte aéreo, incluyendo el desarrollo de plantas de producción de queroseno sintético, el análisis de modificaciones necesarias en las aeronaves y el establecimiento de requisitos ambientales en los aeropuertos?

#### 5.2.4.2. Análisis estadístico de las respuestas al cuestionario: integración de las opiniones

Las respuestas posibles se presentan como estimaciones numéricas, reflejando la probabilidad de que un evento específico ocurra en un intervalo que varía de -100% a 100%. Cuanto más cercana esté la respuesta a -100%, más improbable es que ocurra el evento. Por otro lado, cuanto más próxima esté a 100%, mayor es la seguridad de que el evento tendrá lugar. Una proximidad a 0% indica una expectativa neutra.

El tratamiento de estas respuestas se llevó a cabo de manera confidencial mediante hojas de cálculo Excel. Se utilizaron medidas de tendencia central como la media y la mediana, junto con la desviación típica como medida de dispersión, para evaluar la uniformidad de las estimaciones.

- La *media* se calcula sumando todos los valores y dividiéndolos entre el número total de estimaciones.

$$\mu = \sum \frac{X_i}{N}$$

Ecuación 6: Media

$$X_i = \text{respuesta de un encuestado}$$

$$N = n^{\circ} \text{ total de individuos que han contribuido en esta valoración}$$

- La *mediana* es el valor central cuando las estimaciones están ordenadas de menor a mayor, o el promedio de los dos valores centrales si hay un número par de estimaciones.

- La *desviación típica* es la raíz cuadrada de la varianza. La varianza, a su vez, es la media aritmética del cuadrado de la diferencia entre cada valor y la media de la variable.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2$$

Ecuación 7: Varianza

Donde :

$X_i$  = respuesta de un encuestado

$N$  = nº total de individuos que han contribuido en esta valoración

Resultado de la desviación típica

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Ecuación 8: Desviación típica

La desviación estándar, que refleja la dispersión de los datos alrededor de la media, sirve como indicador de la incertidumbre. Es preferible que haya cierta variabilidad entre las respuestas, ya que una uniformidad total implicaría conclusiones similares a las de un solo experto. Tras la segunda ronda, se espera una mayor coherencia en las respuestas debido a un consenso más amplio.

Una desviación estándar media menor en la segunda ronda respecto a la primera indica un mayor acuerdo entre los expertos, lo que conlleva una respuesta grupal más precisa y cercana a la realidad. La diferencia entre las desviaciones estándar de ambas rondas proporciona una medida de la variación en el grado de consenso logrado.

Se han establecido intervalos de aceptación basados en la media y la desviación estándar para evaluar la fiabilidad de los resultados. Estos límites se calculan para determinar la consistencia del consenso obtenido y la variabilidad en las respuestas.

- Límite superior

$$L.S. = (\mu + \sigma)$$

Ecuación 9: Límite superior

- Límite superior rectificado

$$L.S.R. = (L.S. - 0,2 * \sigma)$$

Ecuación 10: Límite superior rectificado

- Límite inferior

$$L.I. = (\mu - \sigma)$$

Ecuación 11: Límite inferior

- Límite inferior rectificado

$$L.I.R. = (L.I. + 0,2 * \sigma)$$

Ecuación 12: Límite inferior rectificado

Después de calcular la media, mediana y desviación estándar, se determinaron los límites que indicaban qué opiniones de qué expertos y de qué preguntas debían ser consideradas para una segunda ronda.

#### 5.2.4.3. Primera ronda

A continuación, se presentará en una tabla todas las respuestas obtenidas del cuestionario completado por los 25 expertos.

Posteriormente, se presentará un resumen del análisis estadístico de cada pregunta, que incluirá:

- Gráfico de Respuestas:
  - Representación de la respuesta de cada experto.
  - La media
  - La mediana
  - Límites de aceptación
- Tabla resumen que presenta los siguientes valores numéricos:
  - N: Número de expertos que han evaluado la pregunta.
  - M: Media aritmética de las respuestas.
  - Mediana: Valor central de las respuestas.
  - $\sigma$ : Desviación estándar de las respuestas.

- L.I. (Límite Inferior) y L.S. (Límite Superior): Rangos estadísticos básicos.
- L.I.R. (Límite Inferior Rectificado) y L.S.R. (Límite Superior Rectificado): Ajustes basados en criterios específicos.

**Respuestas al cuestionario en la primera ronda: Expertos 1 al 13**

	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 5	EXP 6	EXP 7	EXP 8	EXP 9	EXP 10	EXP 11	EXP 12	EXP 13
1	-100%	-50%	-75%	-100%	-75%	-100%	-75%	-100%	-75%	-100%	-75%	-100%	-75%
2	100%	75%	75%	75%	75%	100%	75%	100%	75%	75%	75%	75%	75%
3	75%	50%	50%	-25%	50%	50%	25%	100%	50%	75%	25%	-50%	25%
4	75%	75%	75%	25%	75%	75%	50%	100%	75%	50%	25%	0%	25%
5	75%	50%	75%	50%	75%	75%	50%	75%	75%	75%	50%	25%	50%
6	75%	75%	75%	50%	75%	75%	50%	100%	75%	50%	75%	25%	75%
7	75%	50%	50%	25%	50%	75%	50%	75%	50%	50%	50%	25%	75%
8	100%	50%	75%	25%	50%	75%	50%	100%	50%	75%	50%	25%	50%
9	100%	50%	75%	25%	75%	75%	50%	100%	75%	75%	50%	25%	50%
10	75%	50%	75%	50%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	50%	25%	75%
11	75%	50%	75%	50%	50%	75%	25%	100%	75%	75%	50%	50%	75%
12	75%	50%	100%	25%	75%	75%	50%	100%	75%	50%	75%	25%	50%
13	100%	75%	75%	50%	50%	75%	50%	100%	75%	75%	75%	50%	75%
14	100%	75%	75%	75%	50%	75%	50%	75%	75%	75%	75%	50%	75%
15	75%	75%	50%	25%	50%	75%	50%	100%	50%	75%	100%	50%	75%
16	100%	75%	75%	75%	75%	75%	50%	75%	75%	75%	100%	75%	75%
17	100%	50%	50%	25%	75%	75%	50%	75%	75%	50%	75%	50%	75%
18	100%	75%	100%	75%	50%	75%	75%	75%	50%	75%	75%	50%	75%
19	100%	75%	75%	50%	75%	75%	75%	100%	50%	75%	75%	50%	100%
20	75%	50%	75%	-25%	50%	50%	75%	100%	75%	50%	50%	0%	50%
21	-50%	25%	0%	75%	-25%	-50%	25%	-75%	25%	0%	25%	75%	25%
22	75%	50%	75%	0%	75%	50%	25%	75%	75%	50%	50%	-25%	50%
23	75%	100%	75%	50%	75%	100%	75%	100%	75%	75%	75%	50%	75%
24	75%	75%	75%	50%	75%	100%	75%	100%	75%	75%	50%	75%	75%
25	100%	50%	75%	25%	50%	75%	75%	100%	50%	75%	75%	25%	50%
26	100%	75%	75%	50%	75%	100%	75%	100%	75%	75%	50%	50%	75%
27	50%	0%	25%	-75%	25%	0%	-25%	50%	-25%	25%	-50%	-100%	25%
28	75%	50%	50%	0%	25%	50%	50%	75%	50%	50%	25%	-25%	75%
29	100%	75%	50%	0%	50%	75%	75%	100%	50%	100%	50%	-25%	50%
30	75%	50%	25%	-25%	25%	50%	50%	75%	25%	75%	25%	-50%	25%

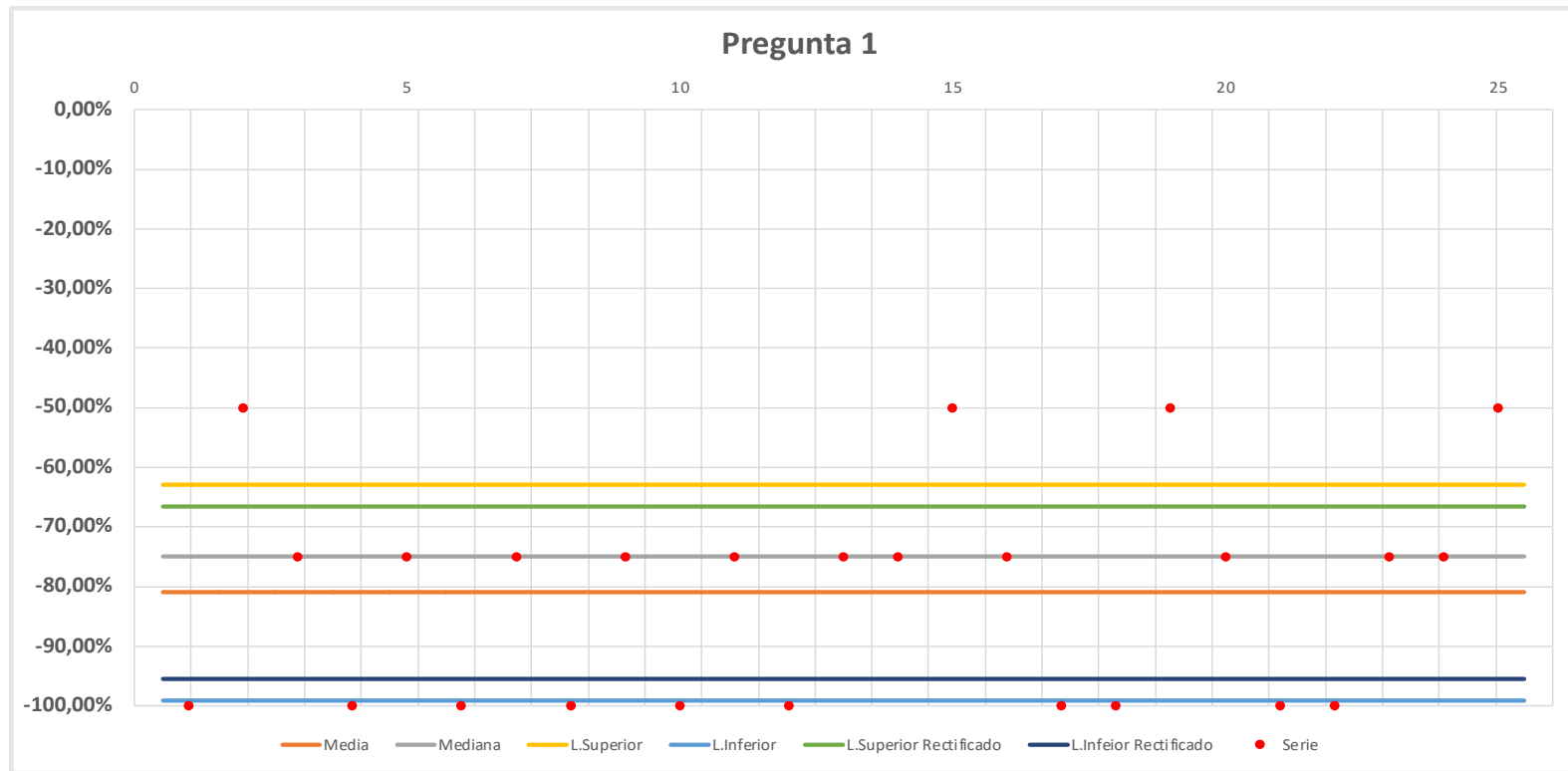
VALORES A REAFIRMAR EN SEGUNDA RONDA	VALORES DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS
--------------------------------------	--

**Respuestas al cuestionario en la primera ronda Expertos 14 al 25**

	EXP 14	EXP 15	EXP 16	EXP 17	EXP 18	EXP 19	EXP 20	EXP 21	EXP 22	EXP 23	EXP 24	EXP 25
1	-75%	-50%	-75%	-100%	-100%	-50%	-75%	-100%	-100%	-75%	-75%	-50%
2	75%	75%	100%	75%	100%	75%	75%	100%	100%	75%	75%	75%
3	0%	75%	25%	50%	75%	75%	50%	100%	75%	25%	0%	75%
4	50%	75%	50%	50%	75%	100%	50%	100%	75%	25%	25%	100%
5	75%	75%	100%	75%	100%	75%	100%	75%	100%	75%	100%	75%
6	25%	75%	50%	50%	75%	75%	75%	100%	75%	50%	75%	75%
7	25%	75%	50%	50%	75%	75%	75%	75%	75%	50%	50%	75%
8	50%	75%	75%	50%	100%	75%	50%	75%	75%	50%	25%	50%
9	50%	75%	75%	50%	75%	75%	50%	100%	100%	50%	25%	75%
10	75%	75%	100%	75%	100%	100%	100%	75%	75%	50%	100%	75%
11	50%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	100%	75%	50%	75%	75%
12	50%	75%	75%	50%	100%	75%	75%	100%	75%	50%	25%	75%
13	75%	75%	100%	75%	100%	75%	75%	100%	75%	75%	25%	75%
14	75%	75%	100%	75%	100%	75%	75%	100%	100%	75%	50%	75%
15	50%	75%	100%	100%	75%	75%	75%	100%	75%	0%	50%	75%
16	50%	75%	100%	100%	75%	75%	75%	100%	75%	25%	75%	100%
17	50%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	50%	75%	50%	75%	50%
18	25%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%	75%	50%	75%	75%
19	25%	75%	75%	75%	100%	100%	75%	100%	100%	50%	75%	75%
20	25%	50%	50%	50%	75%	50%	75%	100%	75%	50%	-25%	50%
21	50%	0%	50%	-25%	-75%	-25%	0%	-50%	-25%	25%	50%	-50%
22	25%	75%	50%	25%	75%	75%	50%	100%	75%	50%	0%	75%
23	75%	75%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	75%	100%
24	50%	75%	100%	75%	75%	75%	100%	100%	100%	50%	50%	75%
25	50%	75%	100%	50%	75%	75%	50%	100%	75%	75%	25%	75%
26	25%	75%	100%	75%	100%	100%	75%	100%	100%	75%	50%	100%
27	-25%	50%	25%	50%	75%	50%	50%	75%	75%	-25%	0%	75%
28	25%	50%	50%	0%	75%	50%	25%	50%	50%	25%	25%	50%
29	75%	75%	50%	50%	100%	75%	75%	100%	100%	75%	25%	75%
30	75%	50%	25%	25%	75%	50%	50%	75%	100%	50%	0%	75%

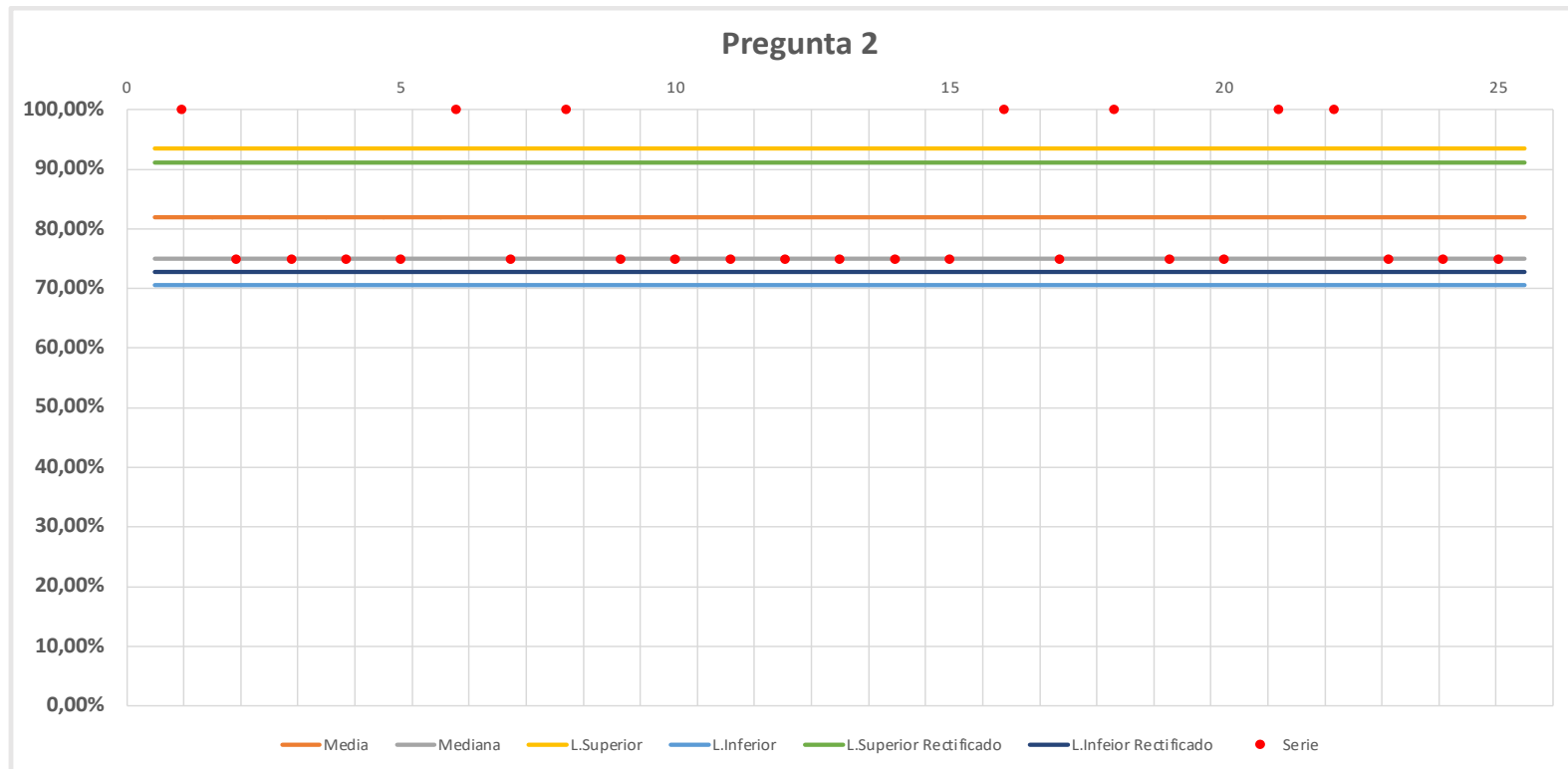
VALORES A REAFIRMAR EN SEGUNDA RONDA	VALORES DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS
--------------------------------------	--

**Pregunta 1:** ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, el papel del hidrógeno verde sea mínimo, limitándose principalmente a la validación de tecnología y proyectos de investigación y desarrollo, a pesar de la disponibilidad de energías renovables y el potencial de reducción de gases de efecto invernadero?



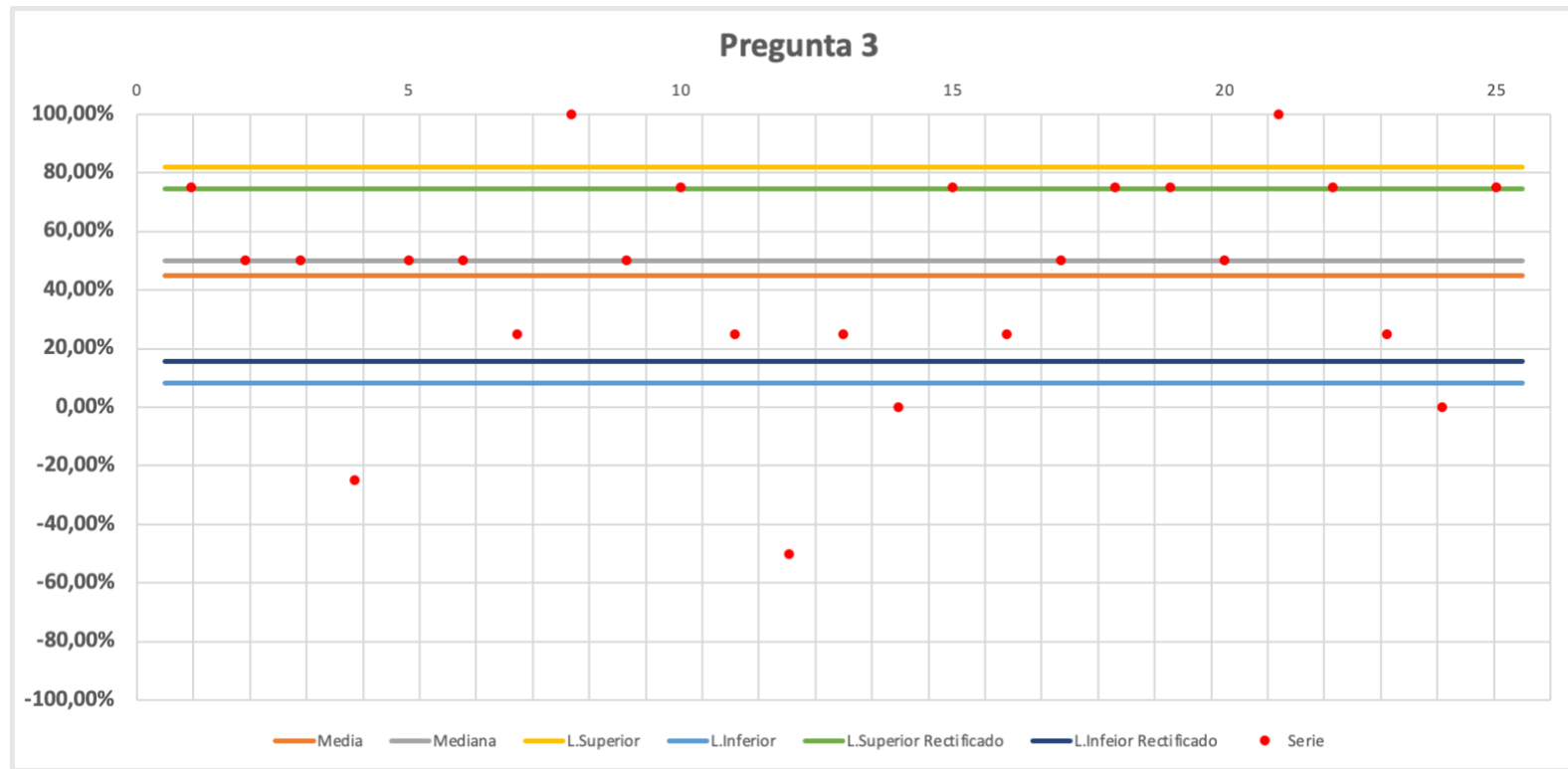
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	-99,09%
MEDIA	-81,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	-95,47%
DESVIACIÓN TÍPICA	18,09%	LÍMITE SUPERIOR	-62,91%
MEDIANA	-75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	-66,53%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:14			

**Pregunta 2:** ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, el hidrógeno verde gane una relevancia creciente en las industrias difíciles de descarbonizar debido a sus propiedades físicas, su amplia variedad de aplicaciones y su complementariedad con la electricidad baja en carbono?



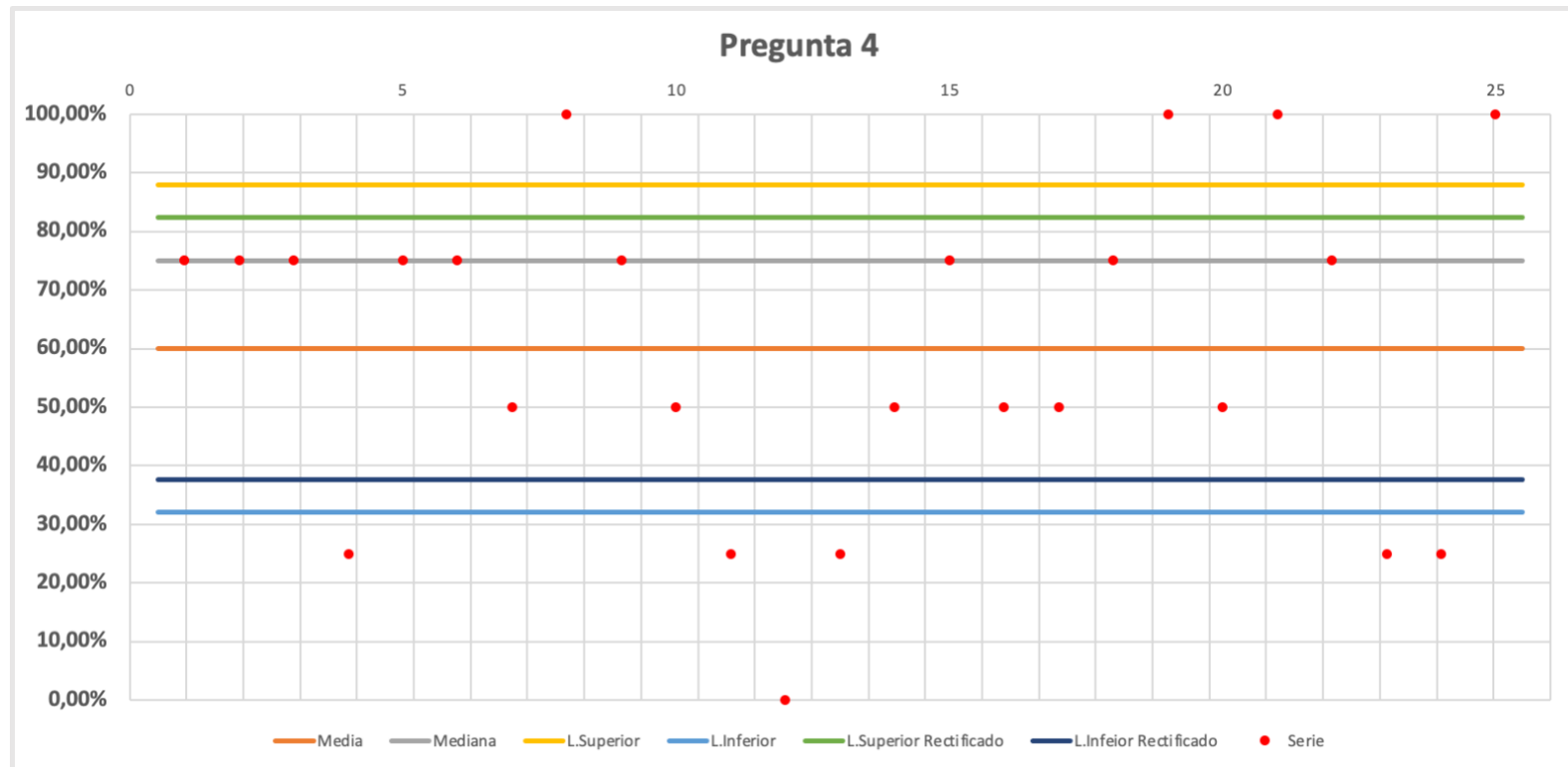
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	70,54%
MEDIA	82,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	72,83%
DESVIACIÓN TÍPICA	11,46%	LÍMITE SUPERIOR	93,46%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	91,17%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 3:** ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se observe una transformación donde el hidrógeno verde satisfaga cada vez más la demanda, incluso en áreas que históricamente han sido difíciles de abastecer con hidrógeno?



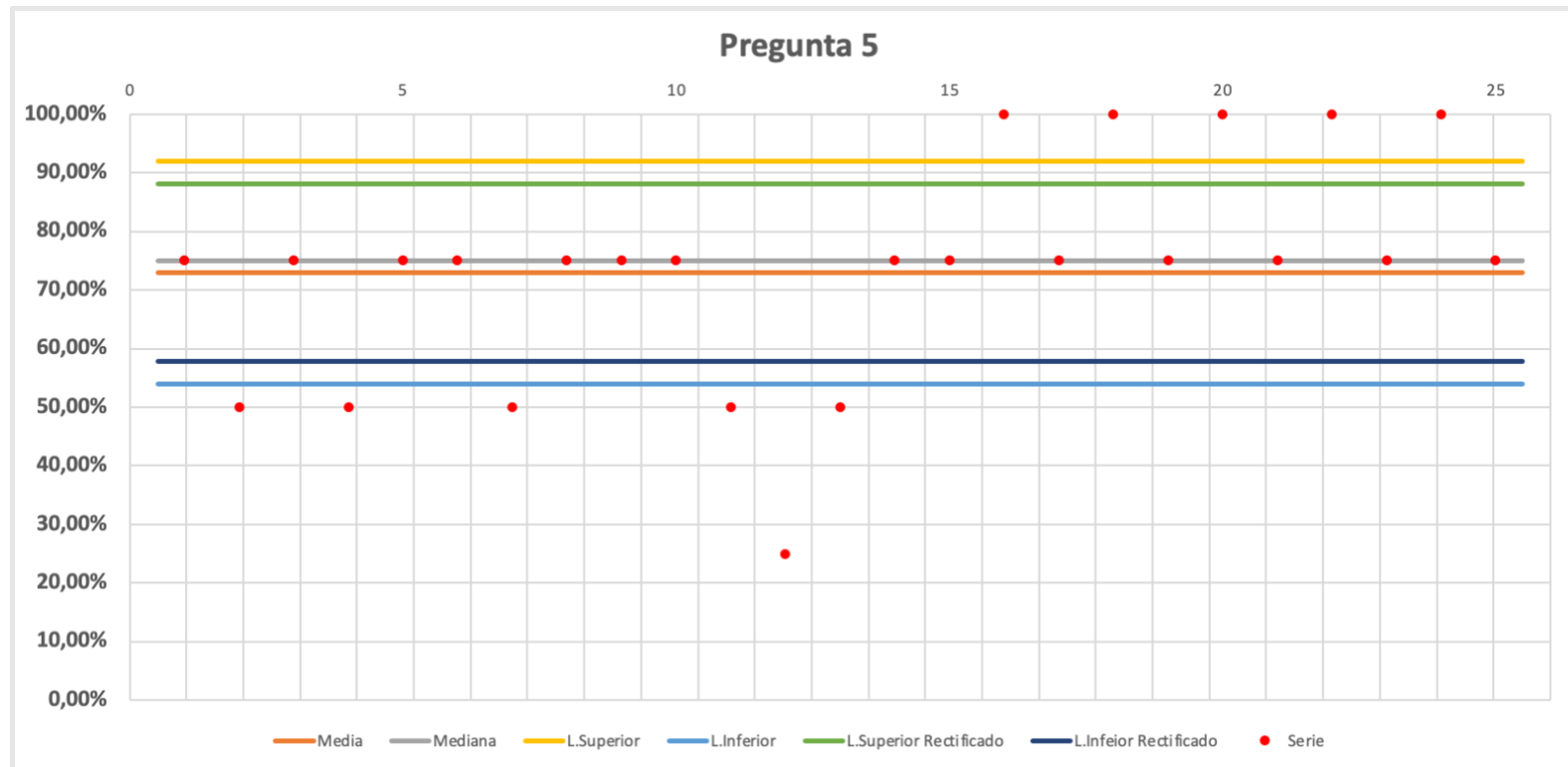
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	8,20%
MEDIA	45,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	15,56%
DESVIACIÓN TÍPICA	36,80%	LÍMITE SUPERIOR	81,80%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	74,44%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:13			

**Pregunta 4:** ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se haya logrado una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero gracias al uso generalizado de hidrógeno verde?



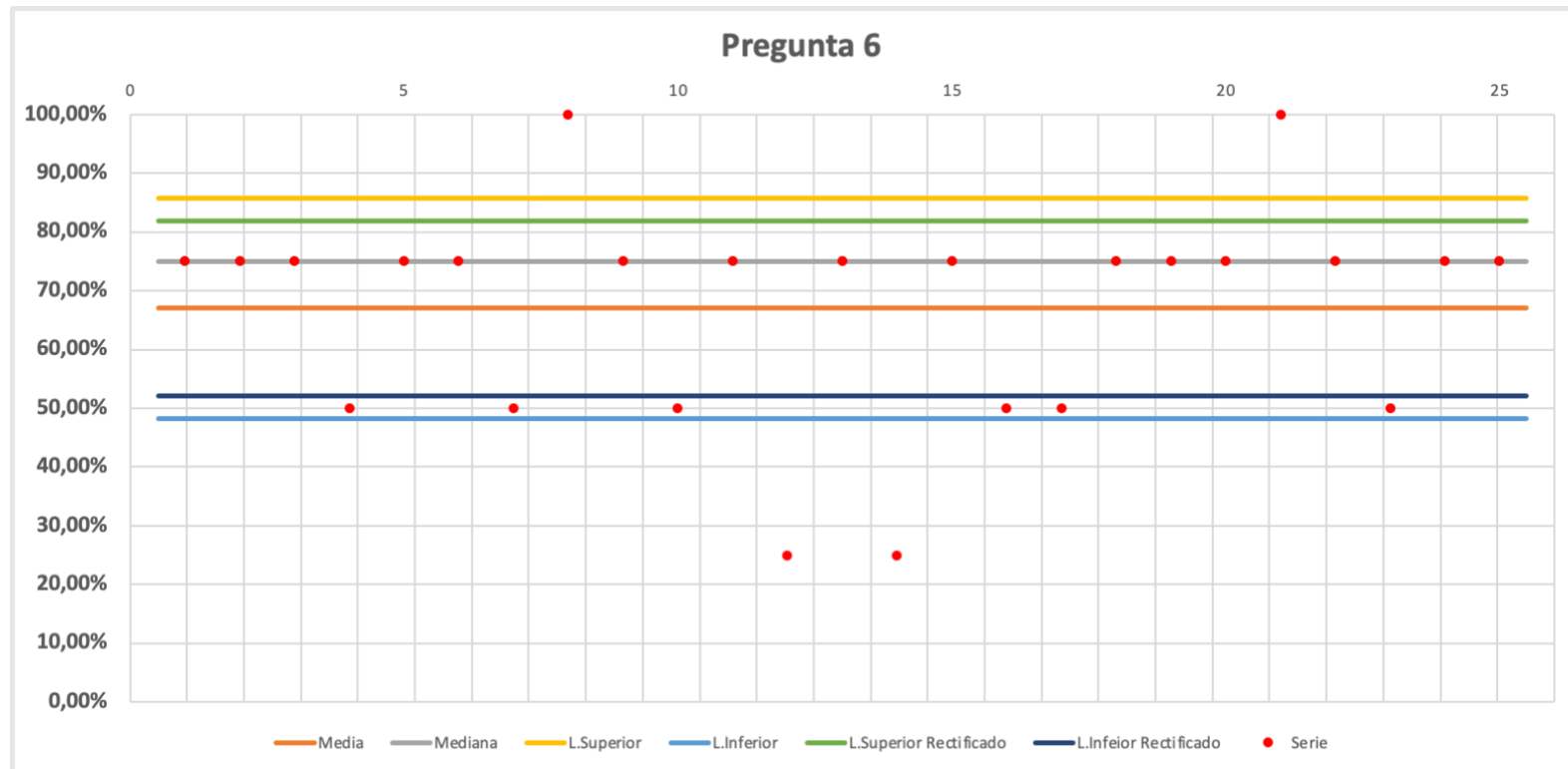
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	32,05%
MEDIA	60,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	37,64%
DESVIACIÓN TÍPICA	27,95%	LÍMITE SUPERIOR	87,95%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	82,36%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:10			

**Pregunta 5:** ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 en España se haya desarrollado ampliamente la cadena de valor de la economía del hidrógeno, consolidando al país como referente tecnológico?



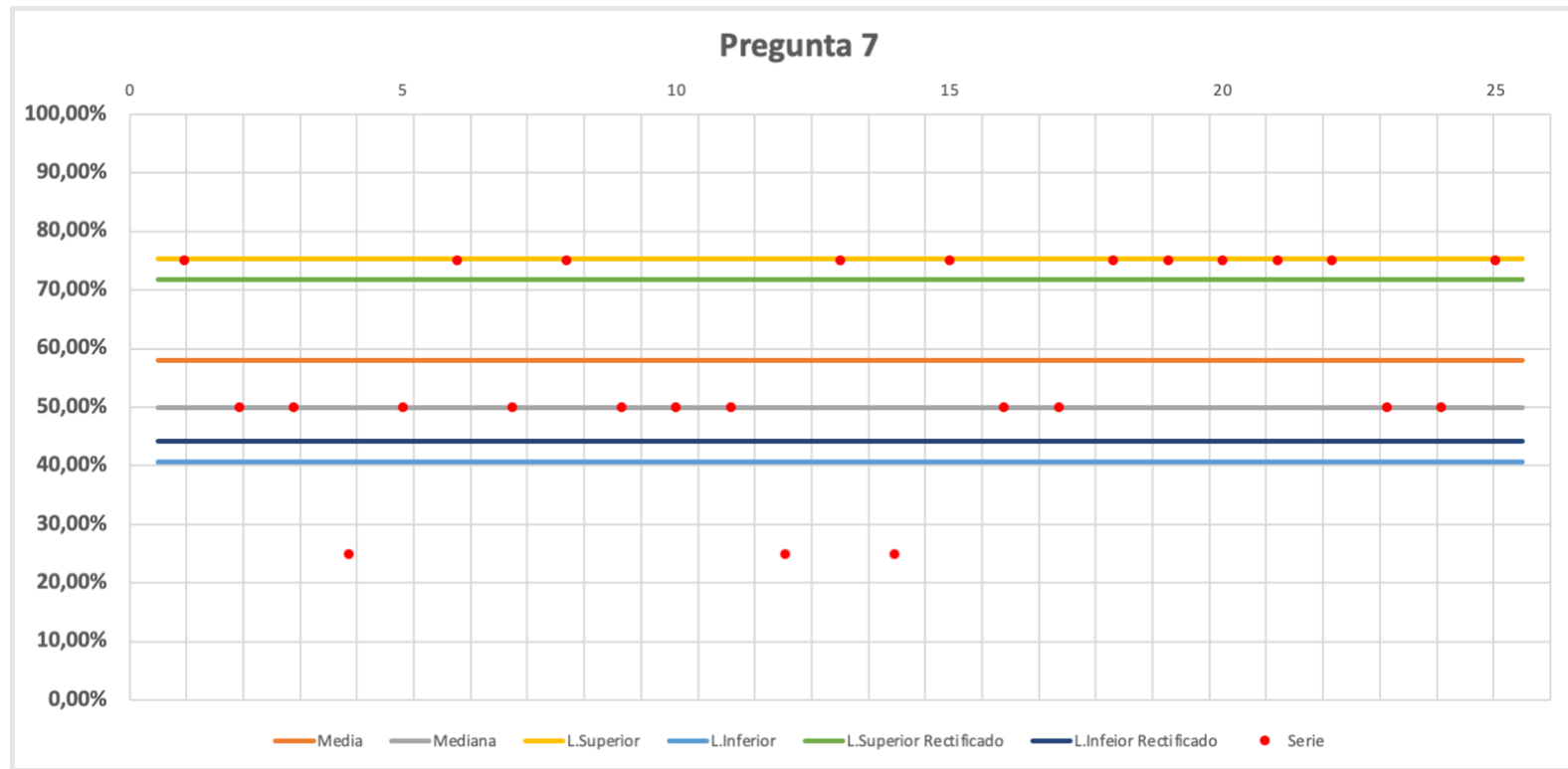
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	54,02%
MEDIA	73,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	57,81%
DESVIACIÓN TÍPICA	18,98%	LÍMITE SUPERIOR	91,98%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	88,19%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:11			

**Pregunta 6:** ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se hayan desarrollado tecnologías de almacenamiento de energía basadas en hidrógeno verde a gran escala, demostrando ser una solución eficaz para la integración de energías renovables intermitentes en el sistema energético español?



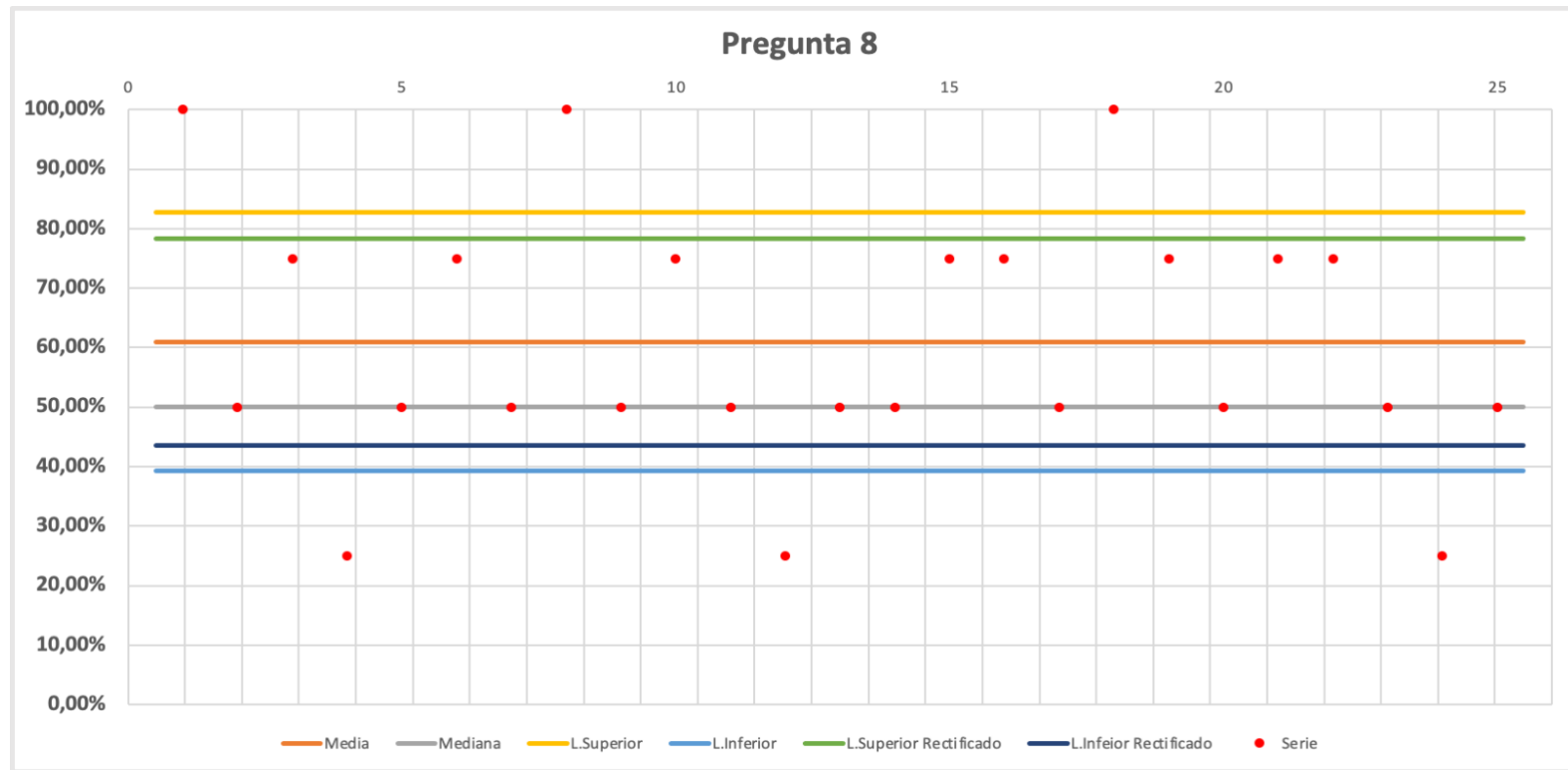
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	48,29%
MEDIA	67,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	52,03%
DESVIACIÓN TÍPICA	18,71%	LÍMITE SUPERIOR	85,71%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	81,97%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:10			

**Pregunta 7:** ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, se haya reducido significativamente la dependencia de importaciones energéticas fósiles mediante la producción autóctona de hidrógeno renovable?



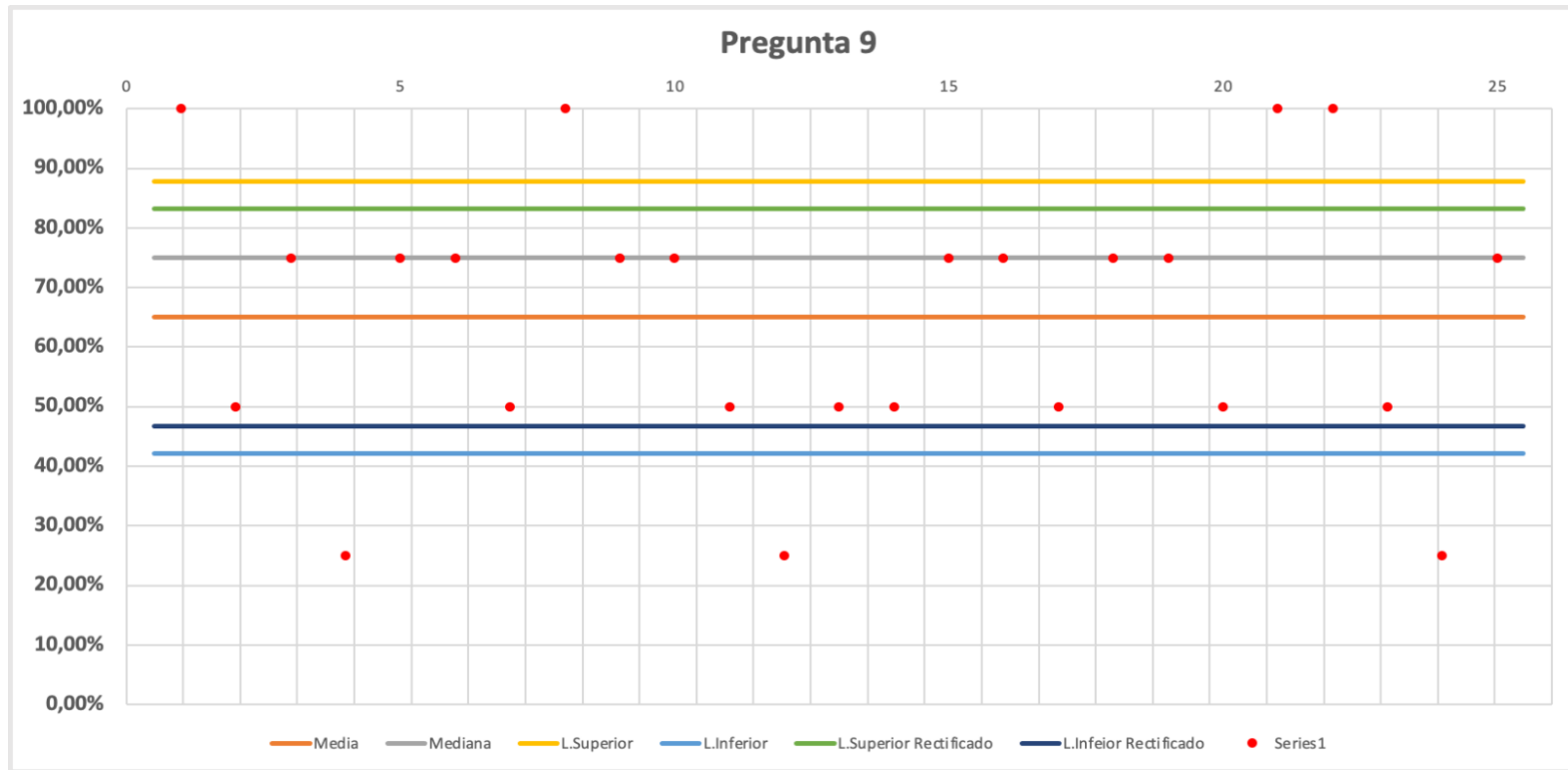
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	40,74%
MEDIA	58,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	44,19%
DESVIACIÓN TÍPICA	17,26%	LÍMITE SUPERIOR	75,26%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	71,81%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:14			

**Pregunta 8:** ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040, España se convierta en uno de los principales productores y exportadores de hidrógeno verde en Europa?



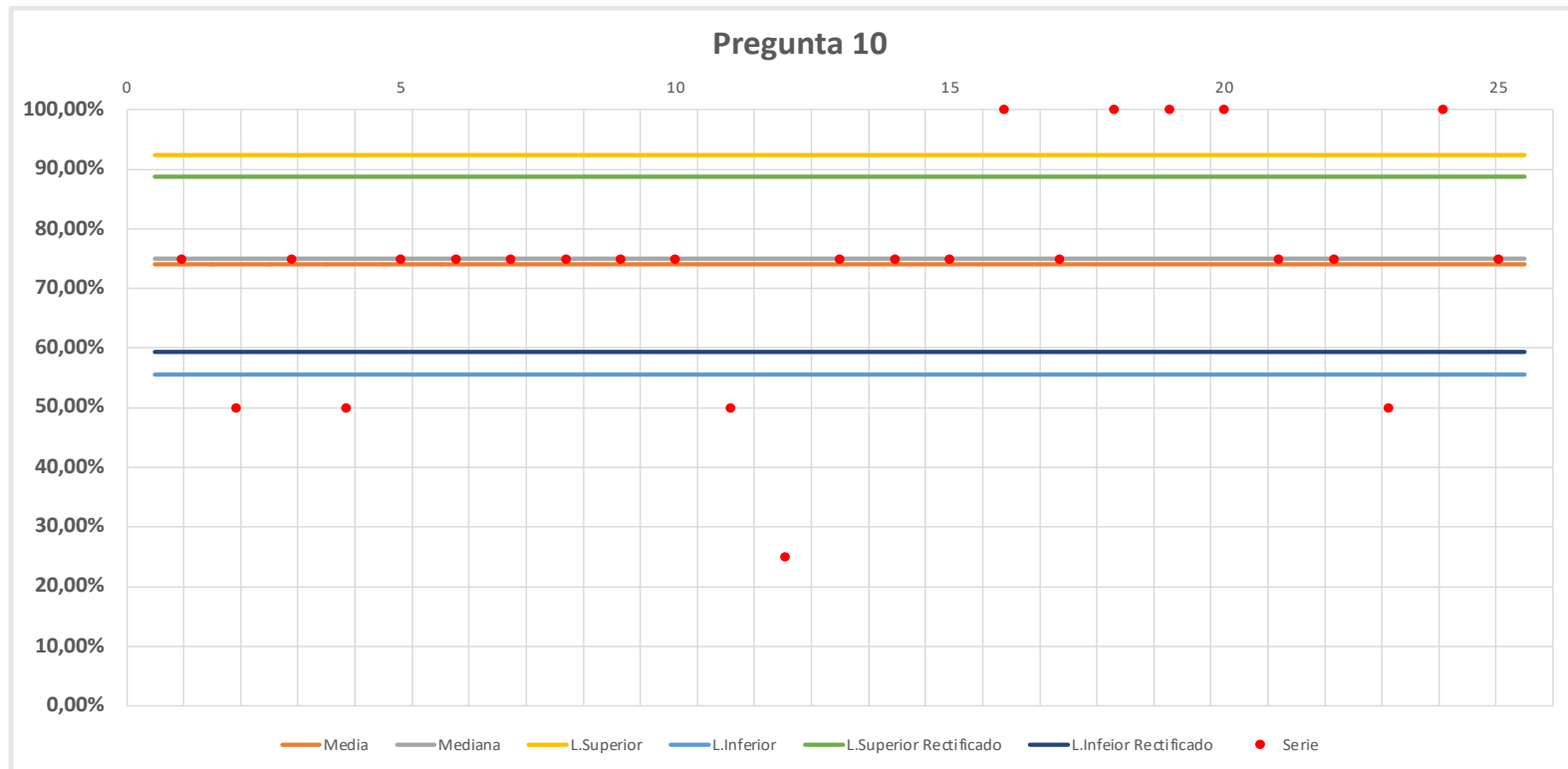
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	39,25%
MEDIA	61,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	43,60%
DESVIACIÓN TÍPICA	21,75%	LÍMITE SUPERIOR	82,75%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	78,40%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:6			

**Pregunta 9:** ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, el hidrógeno verde juegue un papel significativo en la descarbonización de sistemas energéticos aislados, con un enfoque especial en territorios insulares?



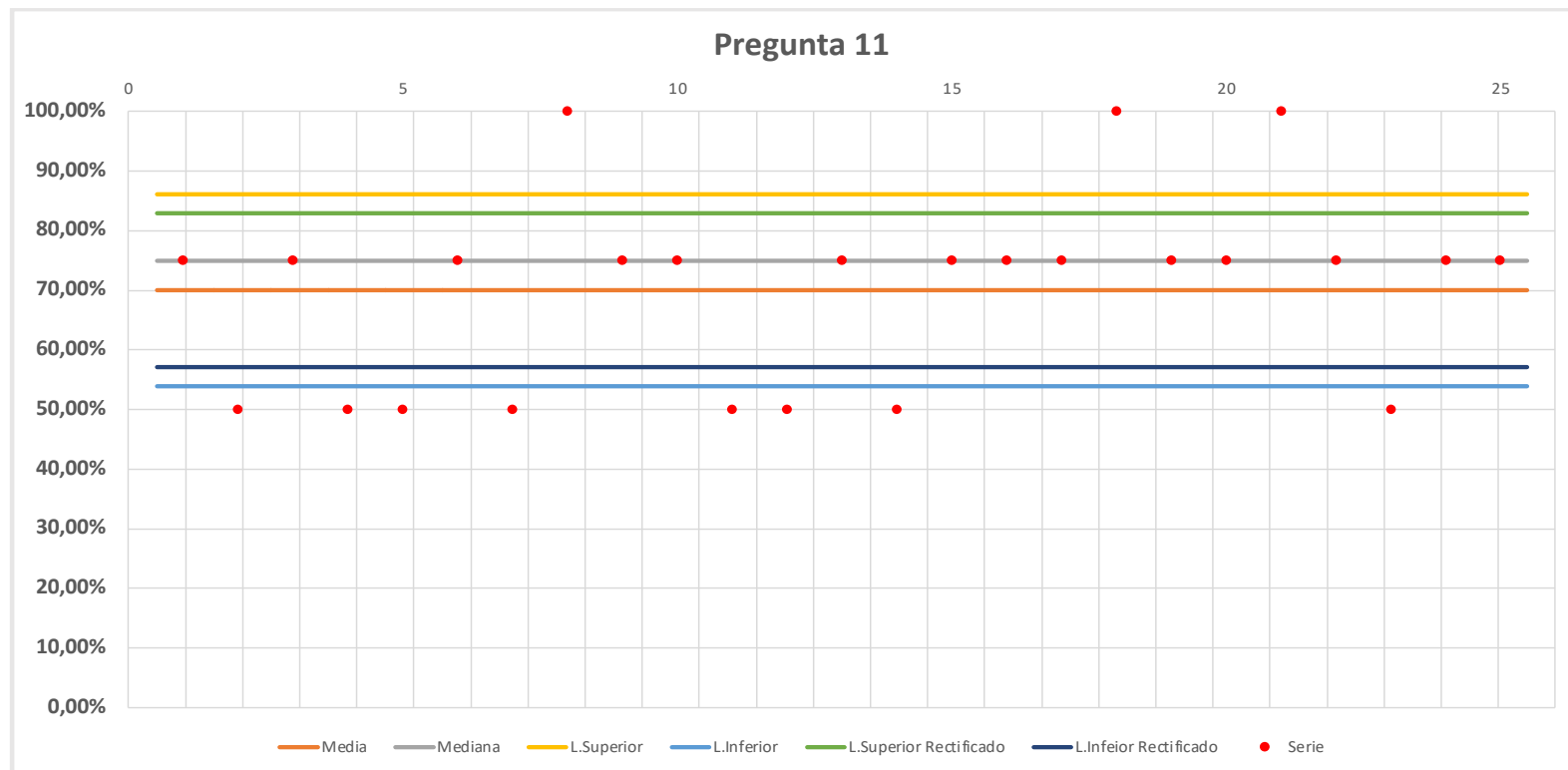
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	42,18%
MEDIA	65,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	46,74%
DESVIACIÓN TÍPICA	22,82%	LÍMITE SUPERIOR	87,82%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	83,26%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 10:** ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, se logre potenciar la investigación, desarrollo e innovación en el ámbito energético, fortaleciendo el liderazgo de las empresas e industrias españolas en tecnologías relacionadas con el hidrógeno renovable?



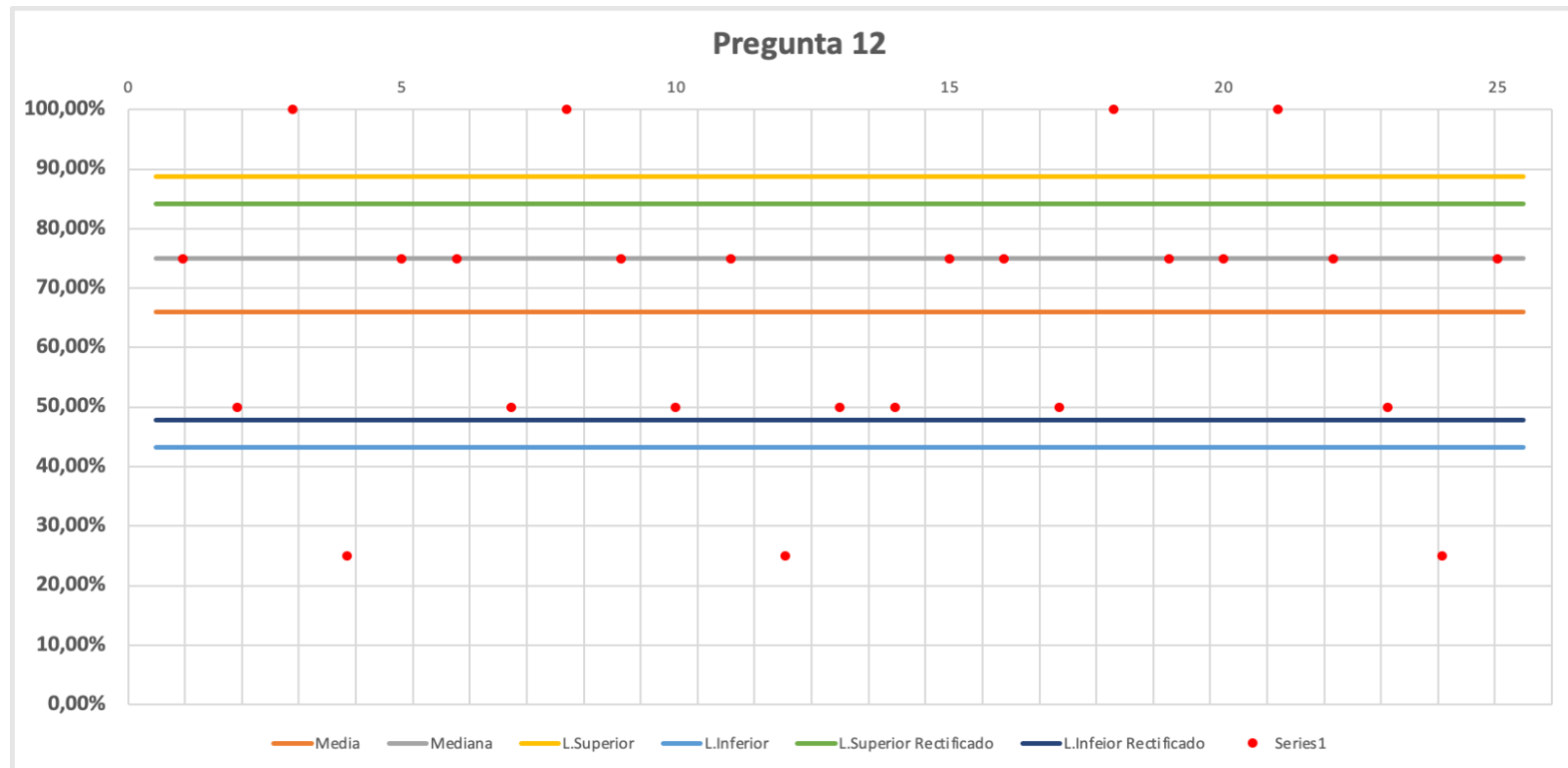
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	55,63%
MEDIA	74,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	59,30%
DESVIACIÓN TÍPICA	18,37%	LÍMITE SUPERIOR	92,37%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	88,70%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:10			

**Pregunta 11:** ¿Qué probabilidad existe de que, en España, para el año 2040, se genere una demanda significativa de hidrogeno verde que permita alcanzar un equilibrio adecuado entre la oferta y la demanda, facilitando así la consolidación de un mercado del hidrógeno?



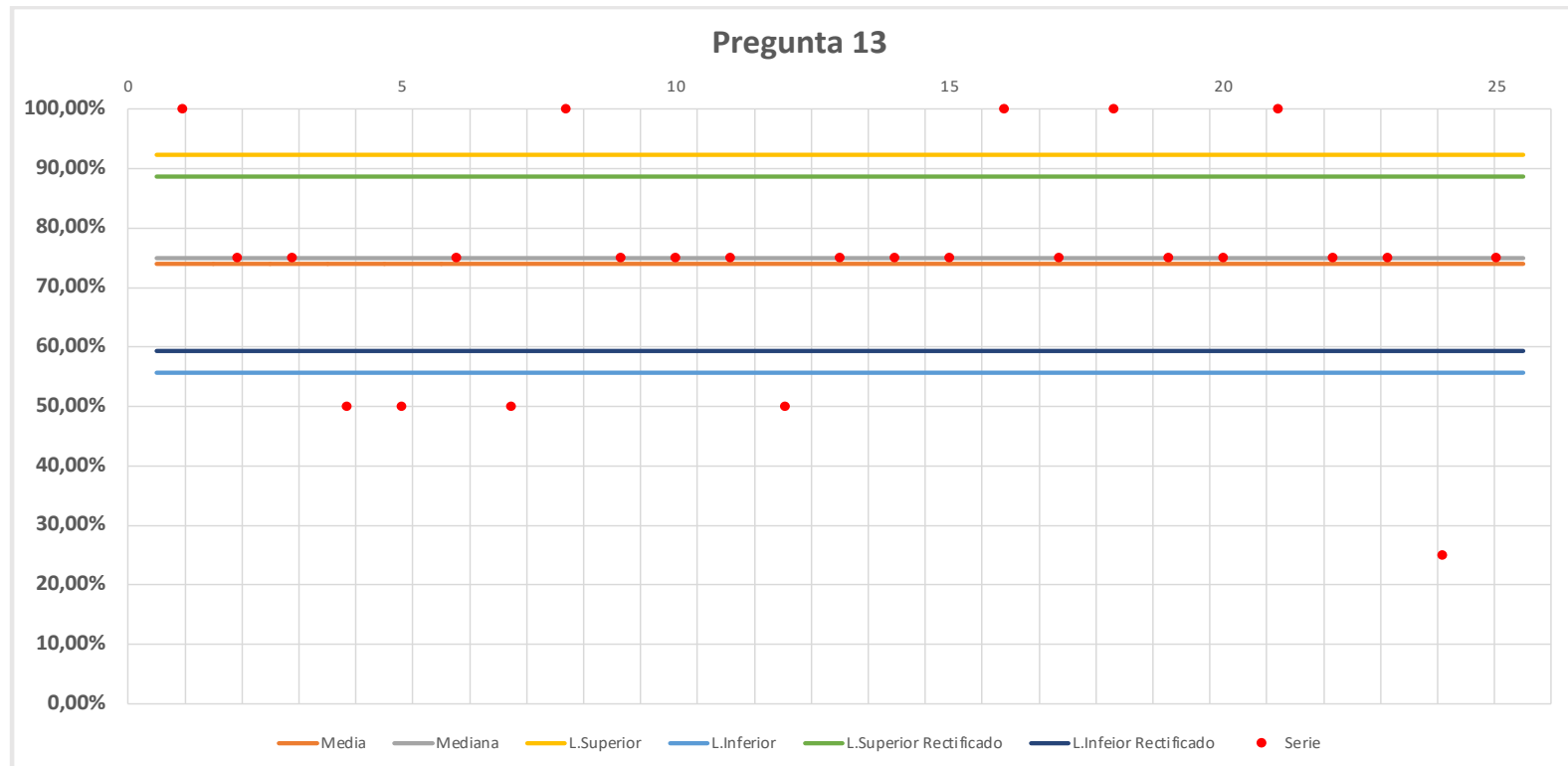
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	53,86%
MEDIA	70,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	57,09%
DESVIACIÓN TÍPICA	16,14%	LÍMITE SUPERIOR	86,14%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	82,91%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:11			

**Pregunta 12:** ¿Cuál es la probabilidad de que, en España, para el año 2040, las autoridades locales, en colaboración con la industria y las empresas del sector energético, hayan realizado una gran cantidad de proyectos de demostración de hidrógeno para promover el crecimiento de las comunidades relacionadas con esta tecnología?



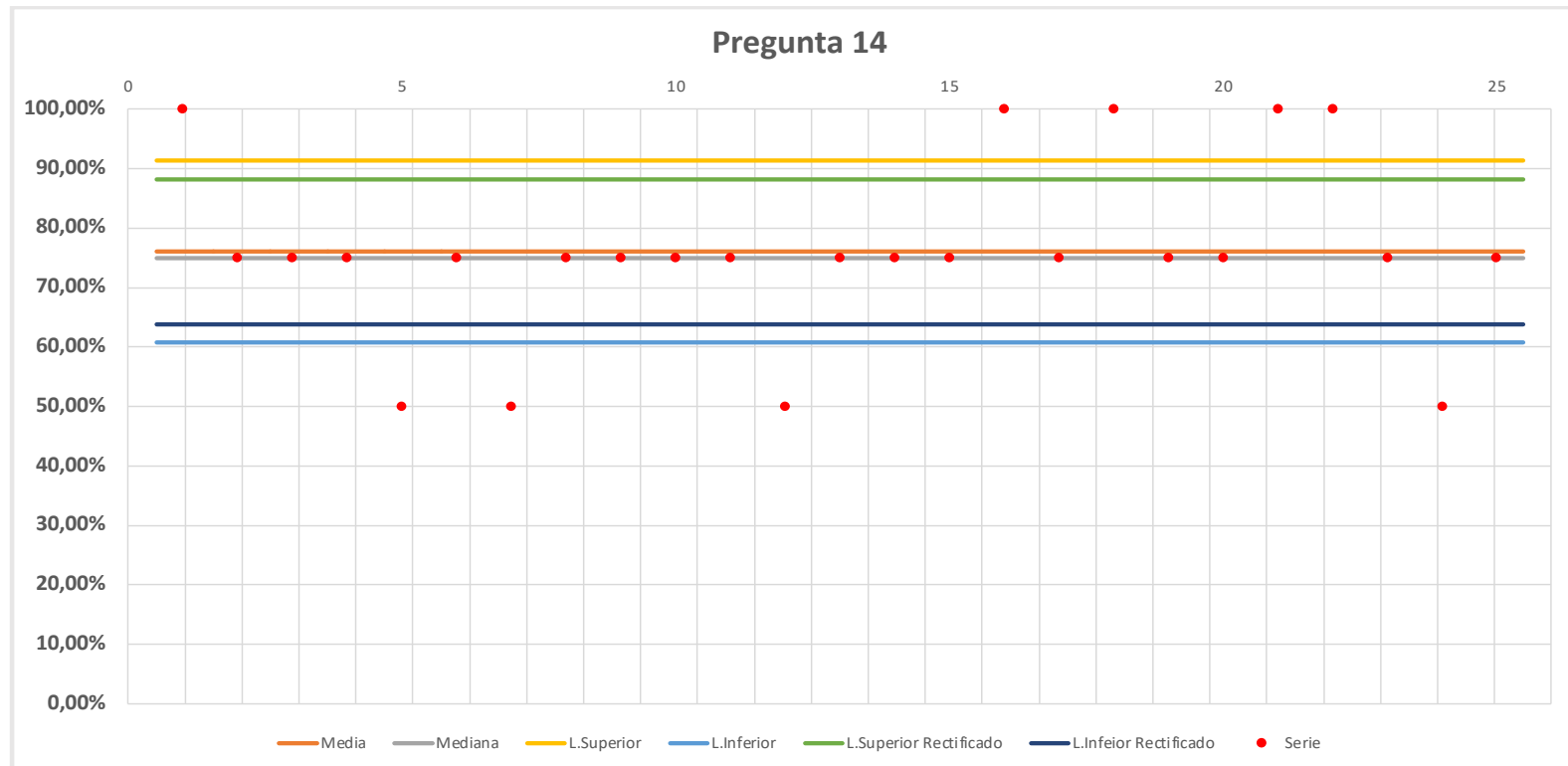
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	43,32%
MEDIA	66,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	47,85%
DESVIACIÓN TÍPICA	22,68%	LÍMITE SUPERIOR	88,68%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	84,15%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 13:** ¿Cuál es la probabilidad de que el hidrógeno verde haya alcanzado un alto nivel de aceptación pública y apoyo para 2040 en España?



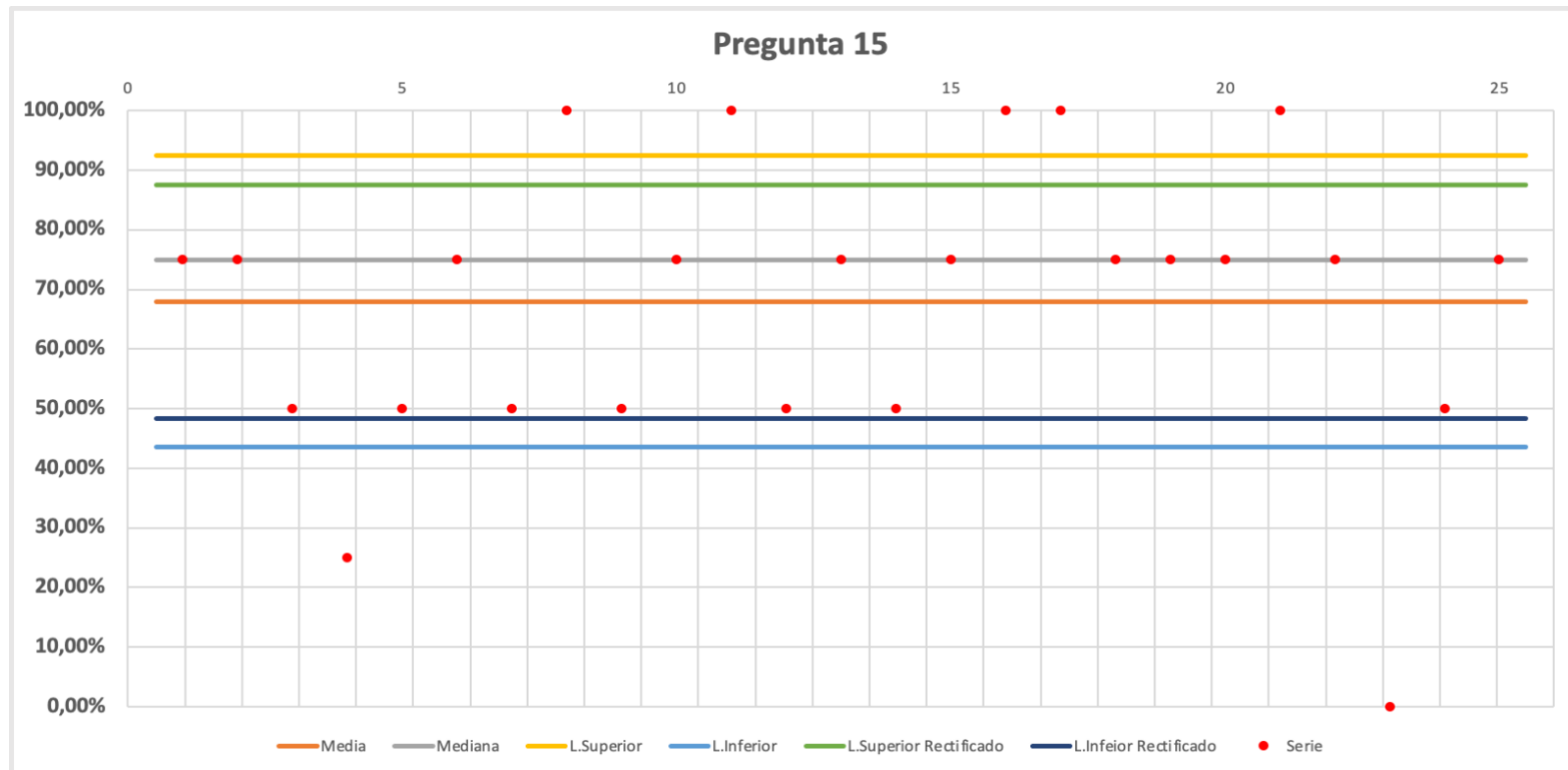
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	55,63%
MEDIA	74,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	59,30%
DESVIACIÓN TÍPICA	18,37%	LÍMITE SUPERIOR	92,37%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	88,70%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:10			

**Pregunta 14:** ¿Qué tan probable es que España pueda atraer inversores a su economía de hidrógeno verde para el año 2040, considerando la necesidad de una hoja de ruta clara, garantías sólidas para las inversiones y una planificación adecuada para cumplir con los objetivos energéticos a largo plazo?



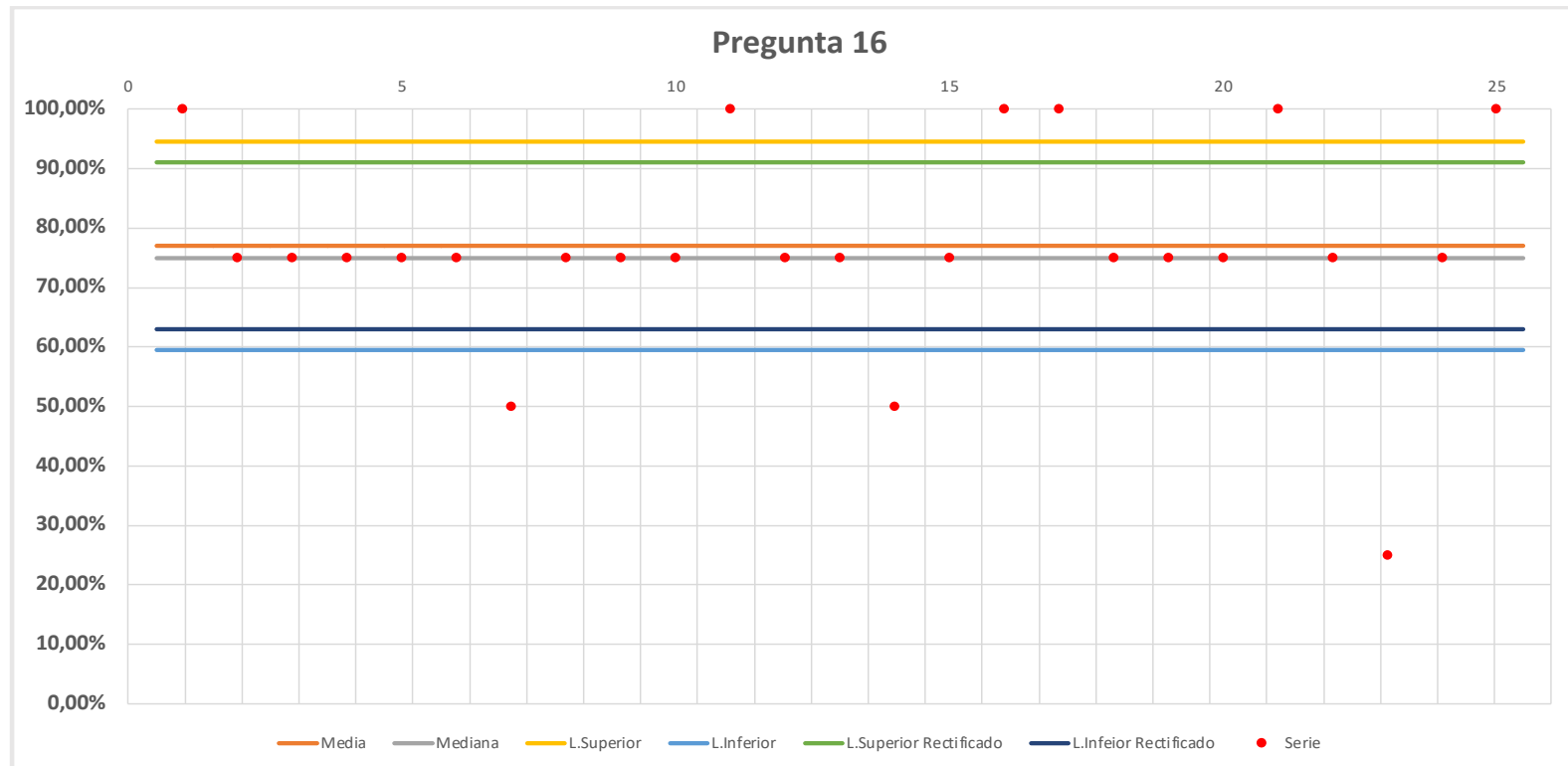
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	60,72%
MEDIA	76,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	63,78%
DESVIACIÓN TÍPICA	15,28%	LÍMITE SUPERIOR	91,28%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	88,22%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:8			

**Pregunta 15:** ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 en España se realice una adaptación efectiva de las infraestructuras gasistas para el almacenamiento y transporte de hidrógeno y gases sintéticos?



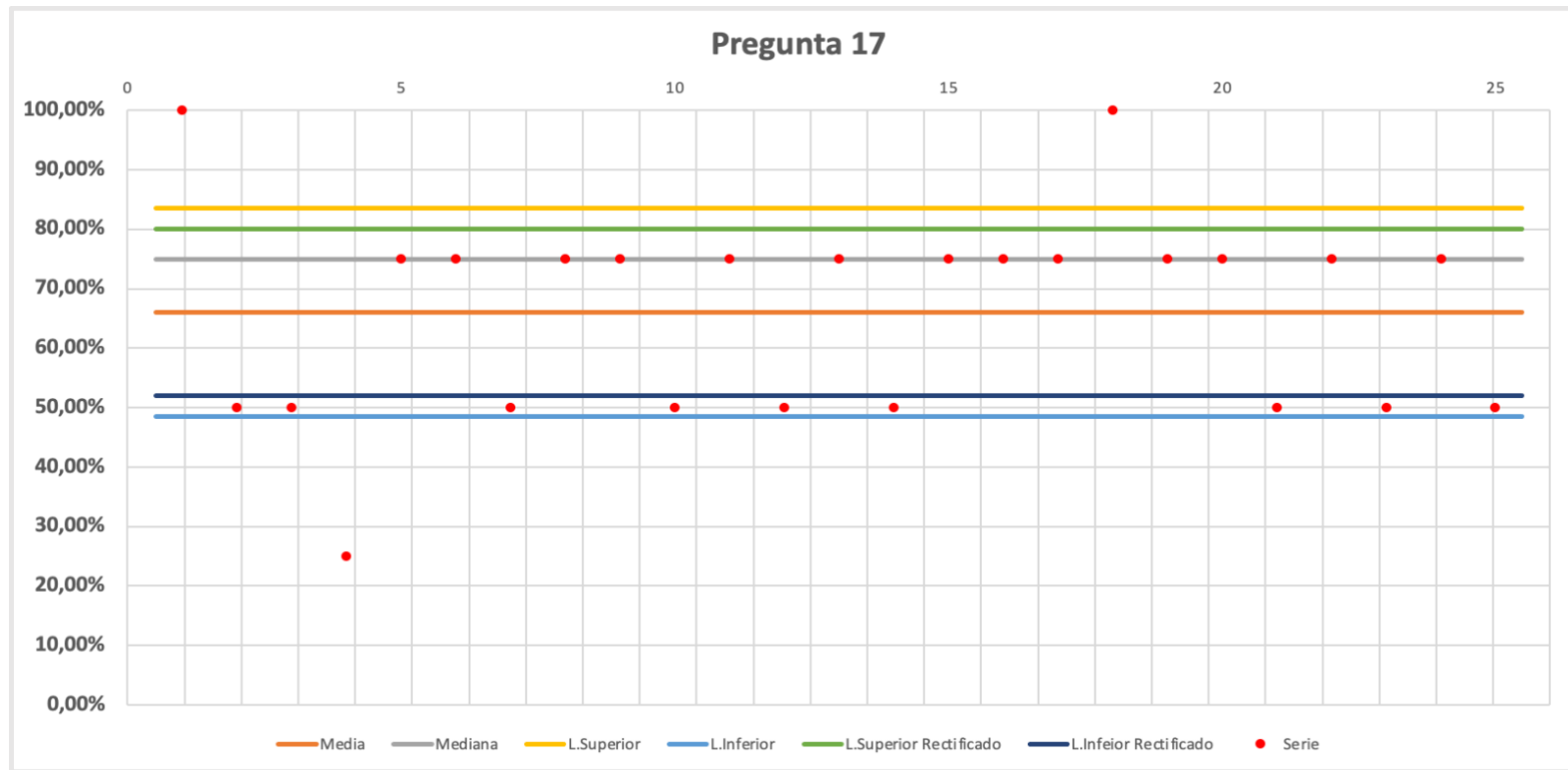
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	43,51%
MEDIA	68,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	48,40%
DESVIACIÓN TÍPICA	24,49%	LÍMITE SUPERIOR	92,49%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	87,60%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 16:** ¿Qué probabilidad asignarías a que para el año 2040 en España se implementen regulaciones específicas y normativas técnicas que impulsen el despliegue de tecnologías del hidrógeno, abordando aspectos de seguridad y condiciones de uso?



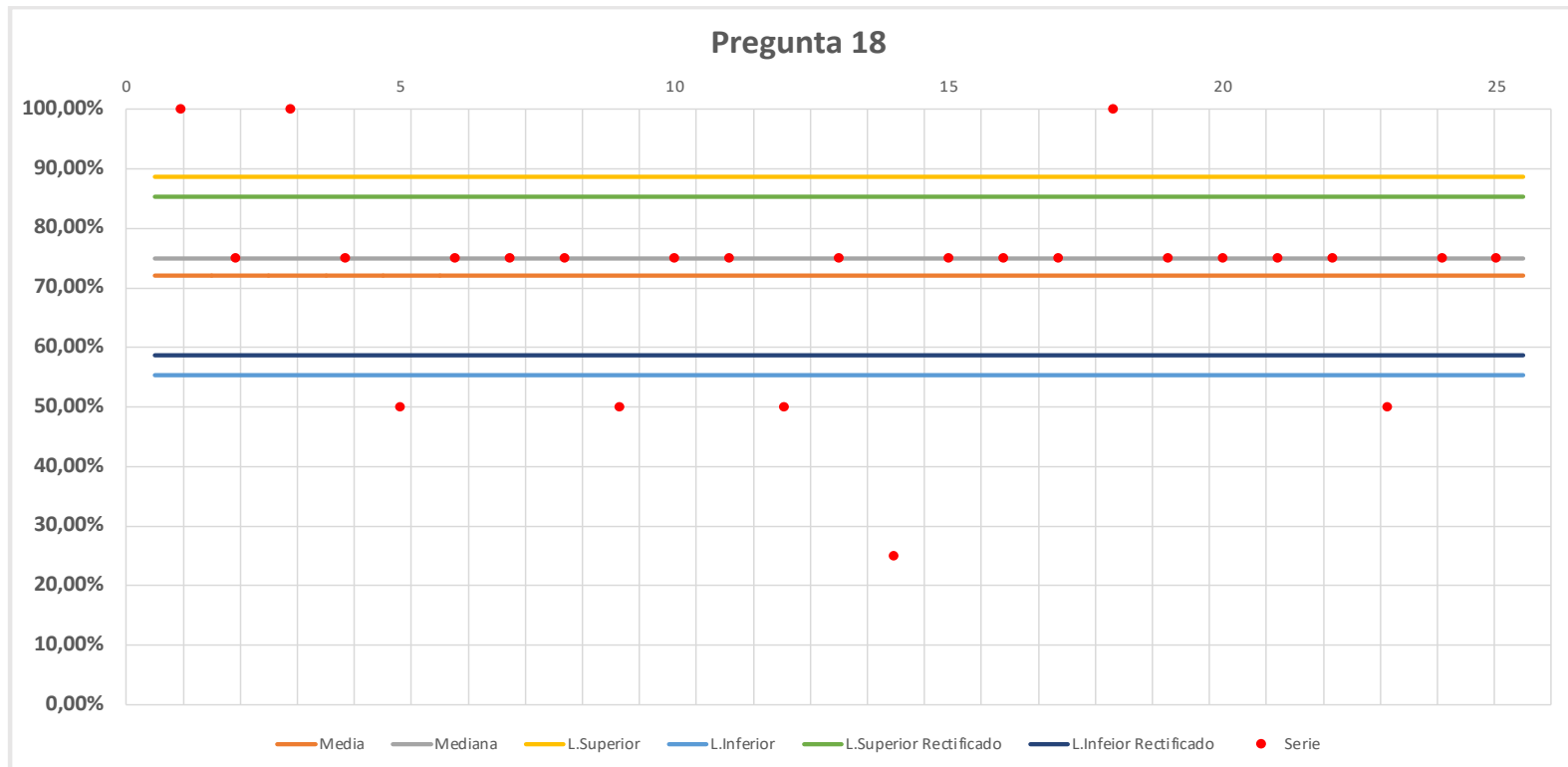
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	59,44%
MEDIA	77,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	62,95%
DESVIACIÓN TÍPICA	17,56%	LÍMITE SUPERIOR	94,56%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	91,05%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:9			

**Pregunta 17:** ¿Qué tan probable es que en España se establezcan regulaciones tarifarias e impositivas favorables para el hidrógeno como producto energético, considerando su potencial para sustituir fuentes de energía convencionales, para el año 2040?



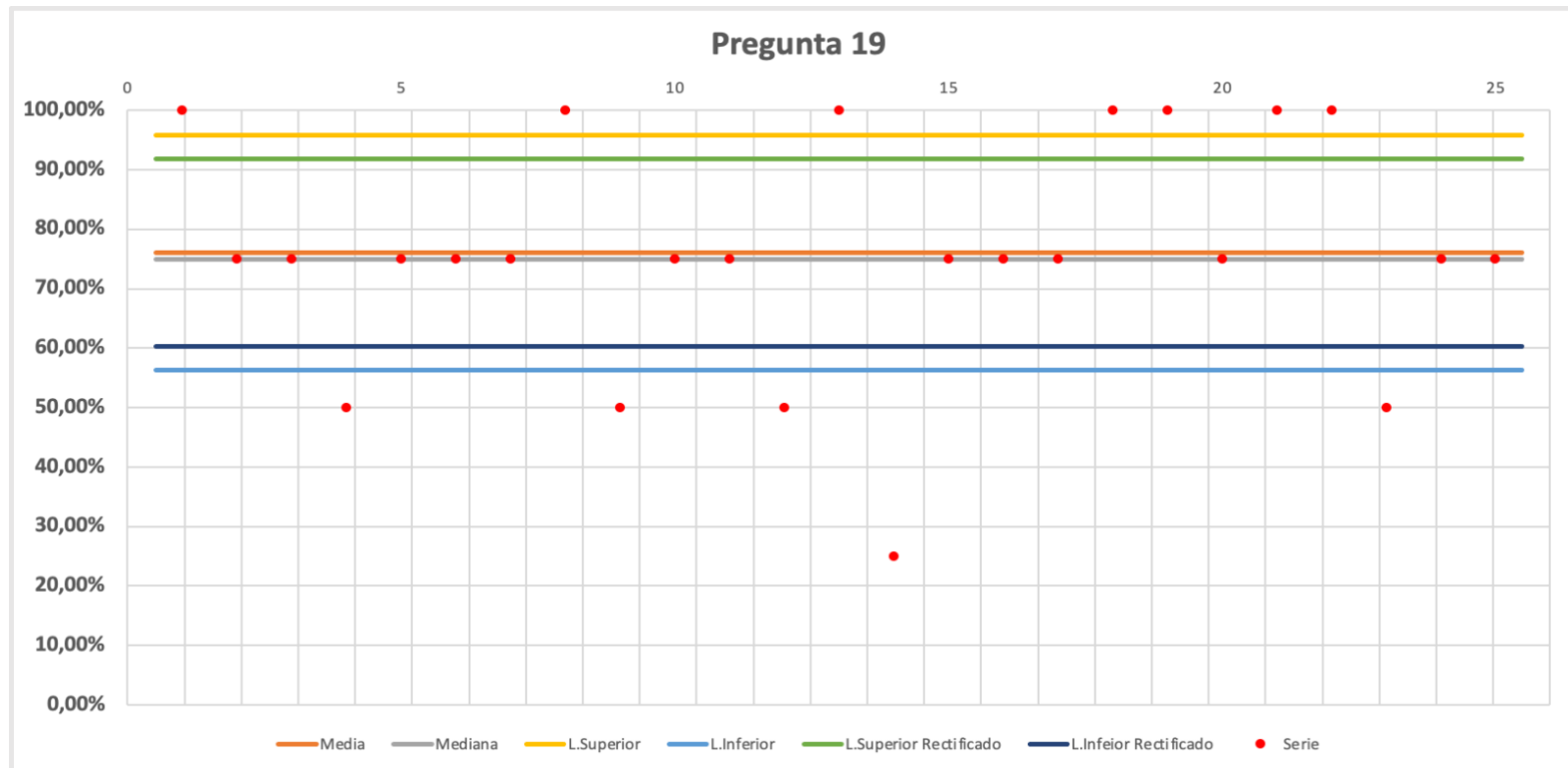
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	48,50%
MEDIA	66,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	52,00%
DESVIACIÓN TÍPICA	17,50%	LÍMITE SUPERIOR	83,50%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	80,00%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:12			

**Pregunta 18:** ¿Cuál es la probabilidad de que el hidrógeno verde haya contribuido de manera significativa a la creación de empleo en España para 2040?



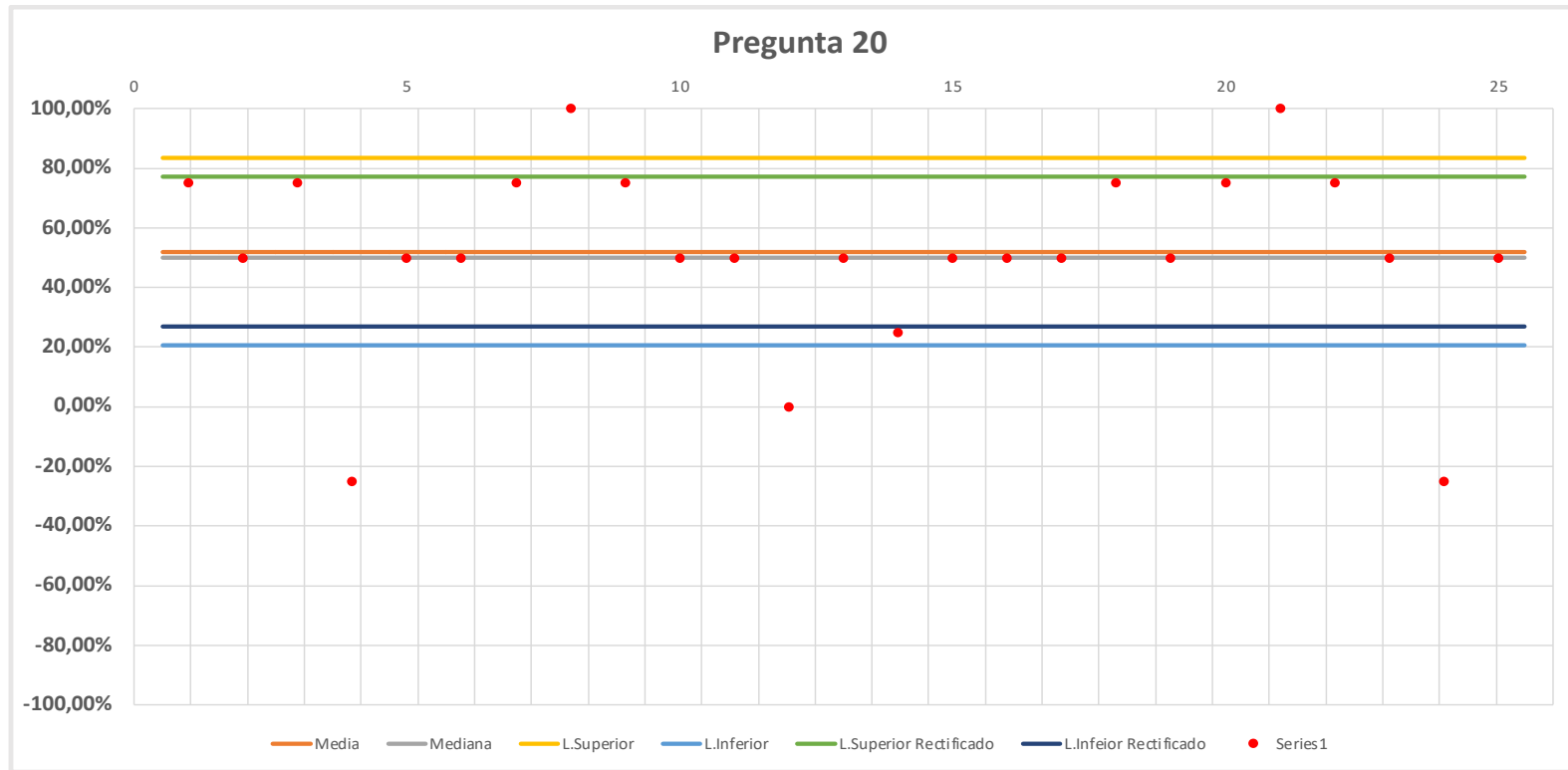
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	55,35%
MEDIA	72,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	58,68%
DESVIACIÓN TÍPICA	16,65%	LÍMITE SUPERIOR	88,65%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	85,32%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:8			

**Pregunta 19:** ¿Qué probabilidad hay de que España tenga acceso a una amplia oferta de energías renovables de bajo coste para el año 2040?



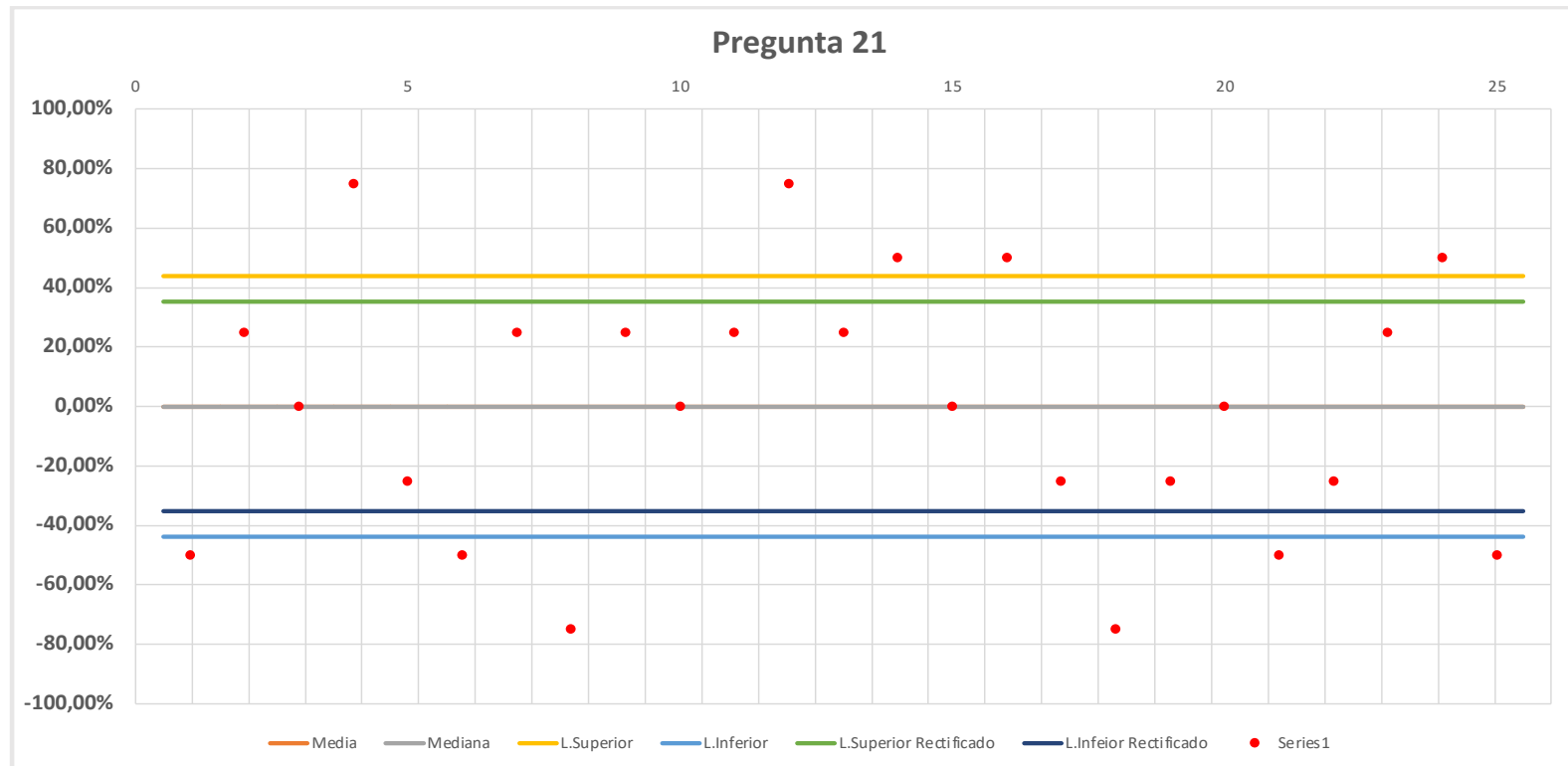
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	56,26%
MEDIA	76,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	60,21%
DESVIACIÓN TÍPICA	19,74%	LÍMITE SUPERIOR	95,74%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	91,79%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:12			

**Pregunta 20:** ¿Cuál es la probabilidad de que el tamaño del mercado de hidrógeno verde en España para el año 2040 represente más del 20% del consumo total de energía final?



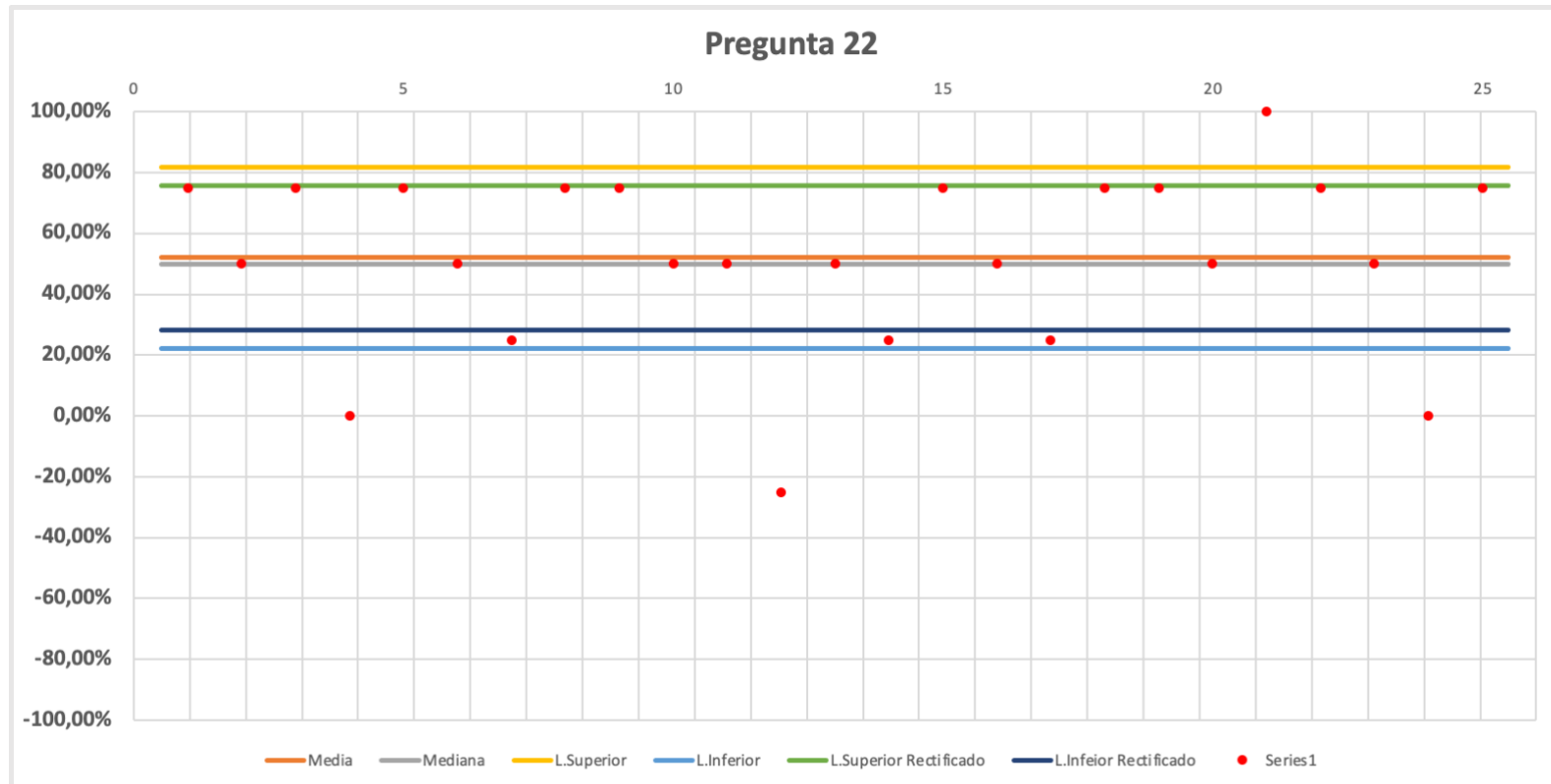
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	20,61%
MEDIA	52,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	26,89%
DESVIACIÓN TÍPICA	31,39%	LÍMITE SUPERIOR	83,39%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	77,11%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:6			

**Pregunta 21:** ¿Qué tan de acuerdo está con la siguiente afirmación? Declaración: Hacia 2040, el hidrógeno azul será un trampolín necesario hacia el hidrógeno verde.



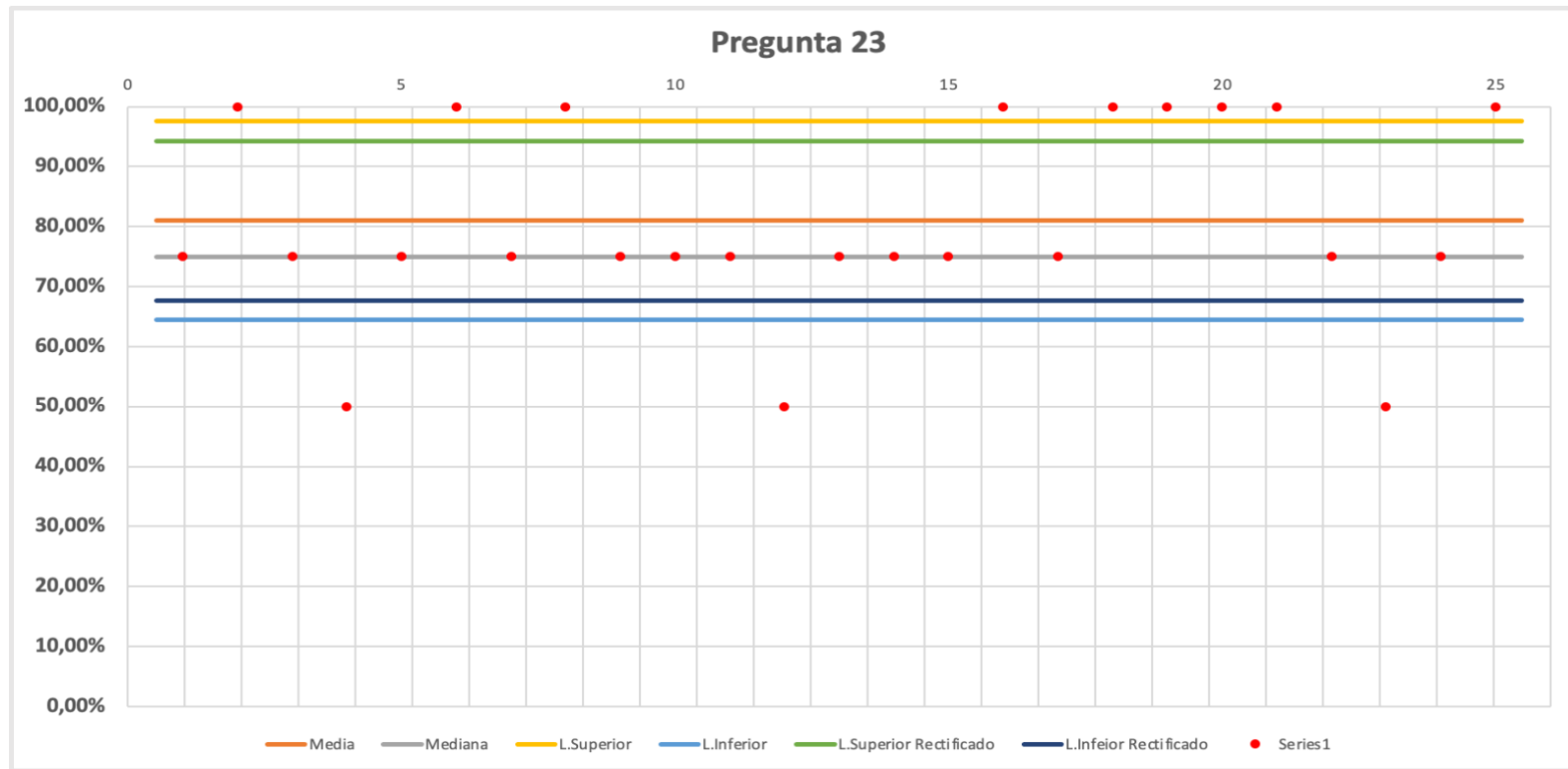
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	-43,90%
MEDIA	0,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	-35,12%
DESVIACIÓN TÍPICA	43,90%	LÍMITE SUPERIOR	43,90%
MEDIANA	0,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	35,12%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:11			

**Pregunta 22:** ¿Cuál es la probabilidad de que España haya desarrollado una infraestructura de almacenamiento y distribución de hidrógeno verde a gran escala para 2040?



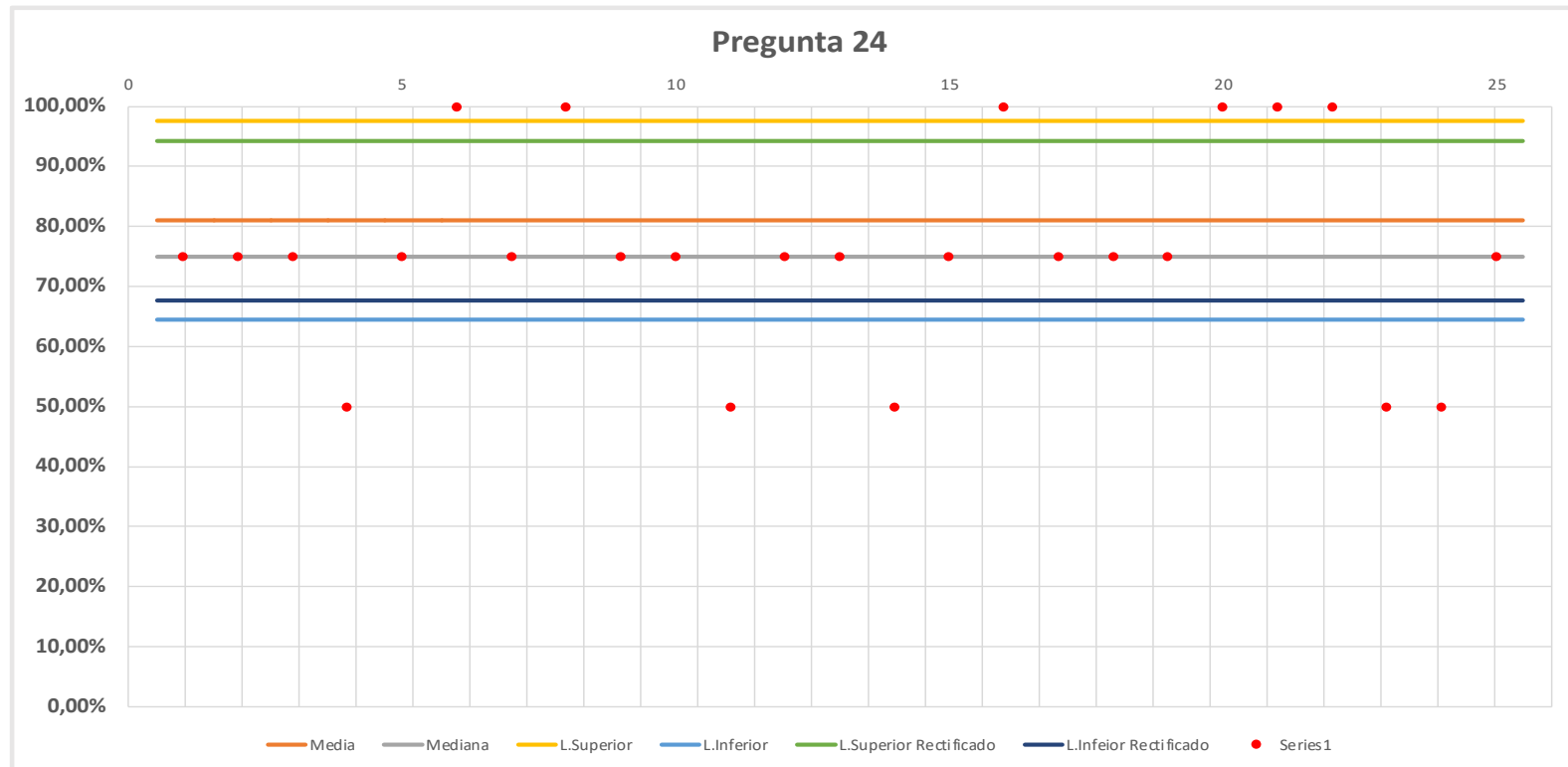
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	22,31%
MEDIA	52,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	28,25%
DESVIACIÓN TÍPICA	29,69%	LÍMITE SUPERIOR	81,69%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	75,75%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 23:** ¿Qué tan probable es que España haya establecido programas de capacitación y educación para fomentar el desarrollo de habilidades relacionadas con el hidrógeno verde para 2040?



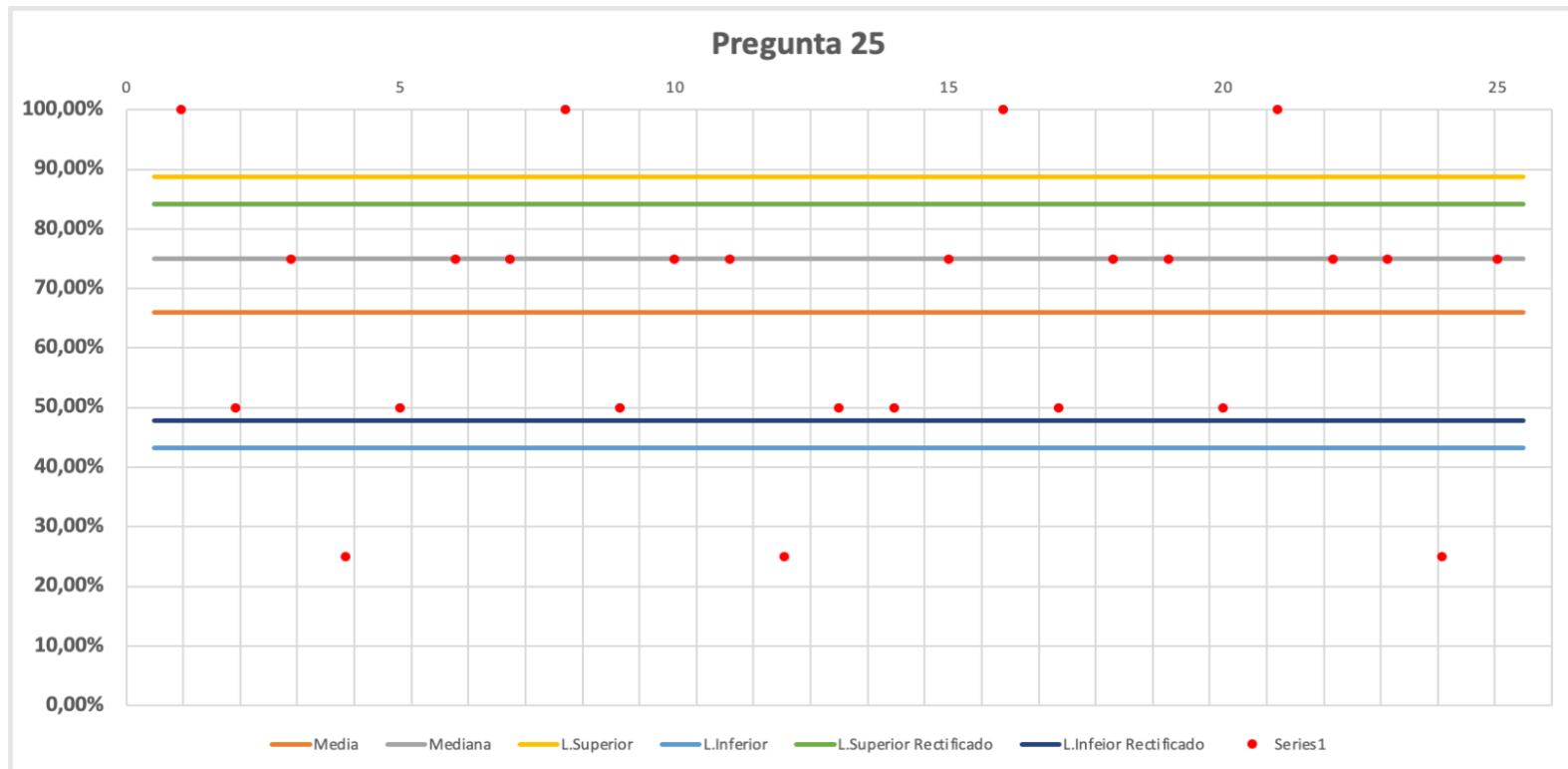
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	64,42%
MEDIA	81,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	67,73%
DESVIACIÓN TÍPICA	16,58%	LÍMITE SUPERIOR	97,58%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	94,27%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:12			

**Pregunta 24:** ¿Qué probabilidad hay de que España logre alcanzar los objetivos establecidos en su hoja de ruta para el año 2040, teniendo en cuenta las proyecciones actuales?



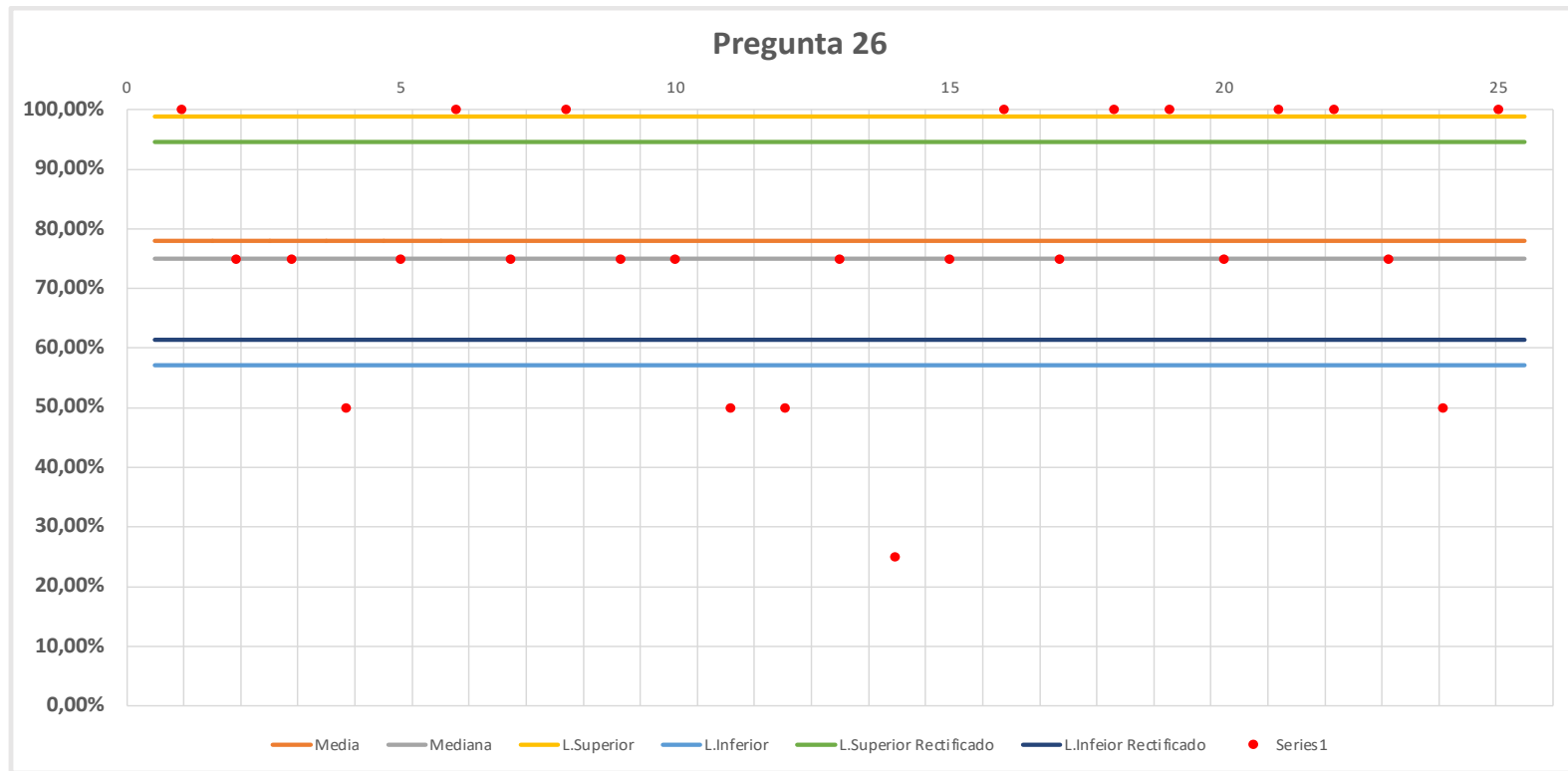
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	64,42%
MEDIA	81,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	67,73%
DESVIACIÓN TÍPICA	16,58%	LÍMITE SUPERIOR	97,58%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	94,27%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:11			

**Pregunta 25:** ¿Qué tan probable es que, en España, para el horizonte 2040, el costo del hidrógeno verde sea competitivo con otras fuentes de energía?



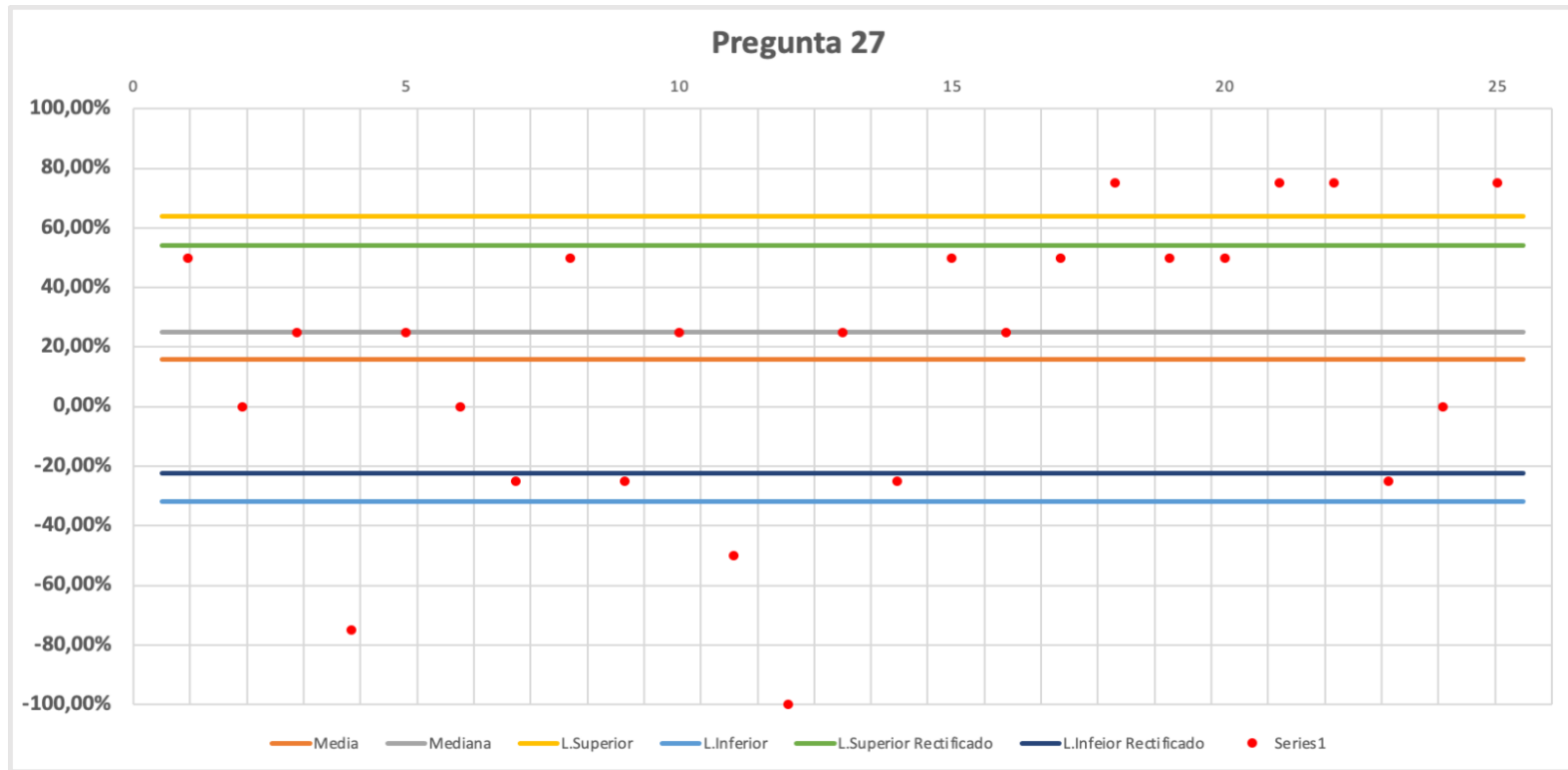
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	43,32%
MEDIA	66,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	47,85%
DESVIACIÓN TÍPICA	22,68%	LÍMITE SUPERIOR	88,68%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	84,15%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 26:** ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 los sectores industriales en España, que necesitan grandes cantidades de hidrógeno y son difíciles de descarbonizar, utilicen mayoritariamente hidrógeno verde? (sectores industriales como el refino de petróleo, la industria del hierro y el acero o la industria química)



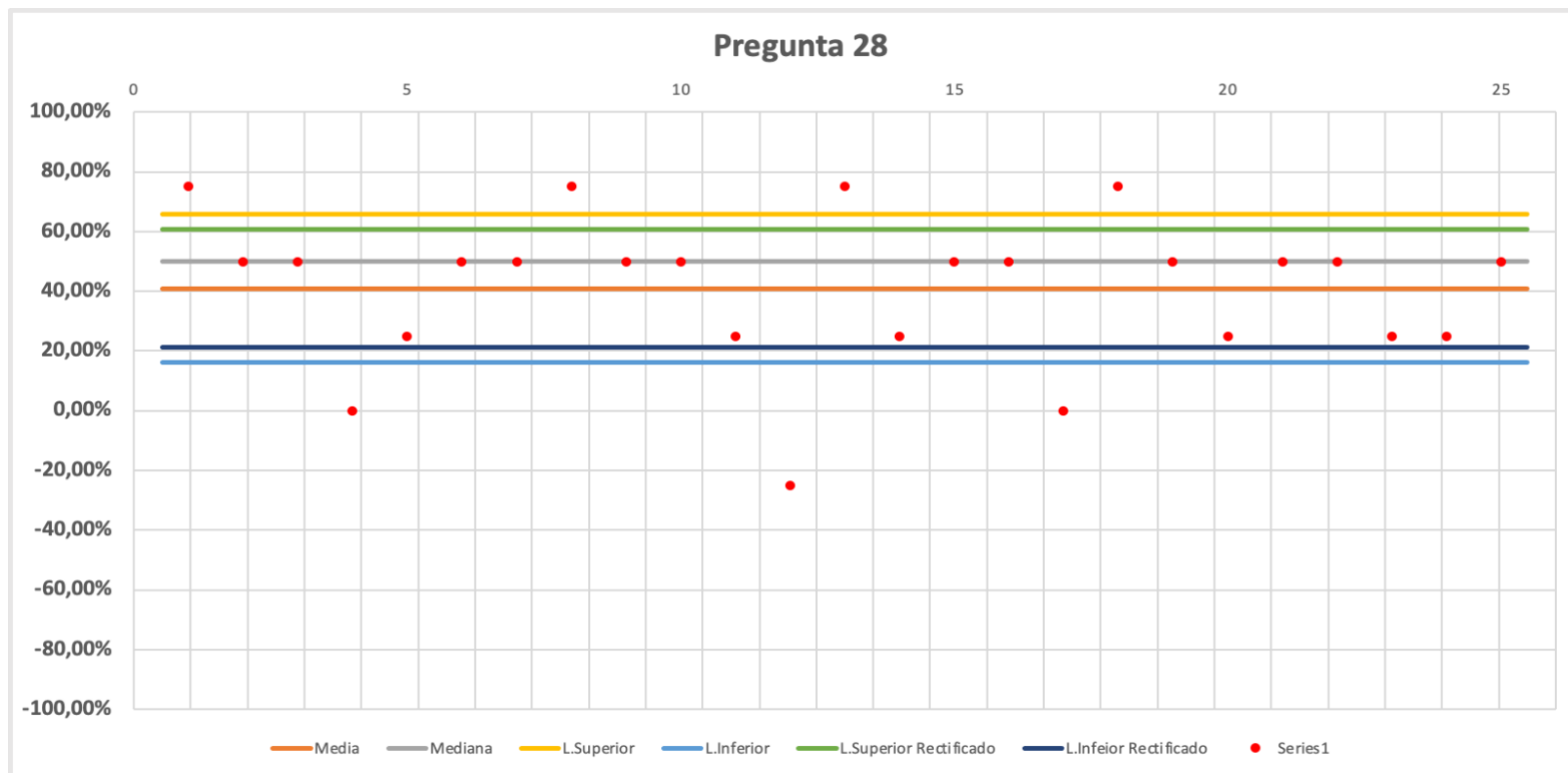
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	57,18%
MEDIA	78,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	61,35%
DESVIACIÓN TÍPICA	20,82%	LÍMITE SUPERIOR	98,82%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	94,65%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:14			

**Pregunta 27:** ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, los vehículos propulsados por hidrógeno con pila de combustible sean competitivos con los vehículos eléctricos (vehículos ligeros), considerando factores como la pérdida de conversión del hidrógeno verde, la caída del precio de las baterías y la escasez de hidrogeneras?



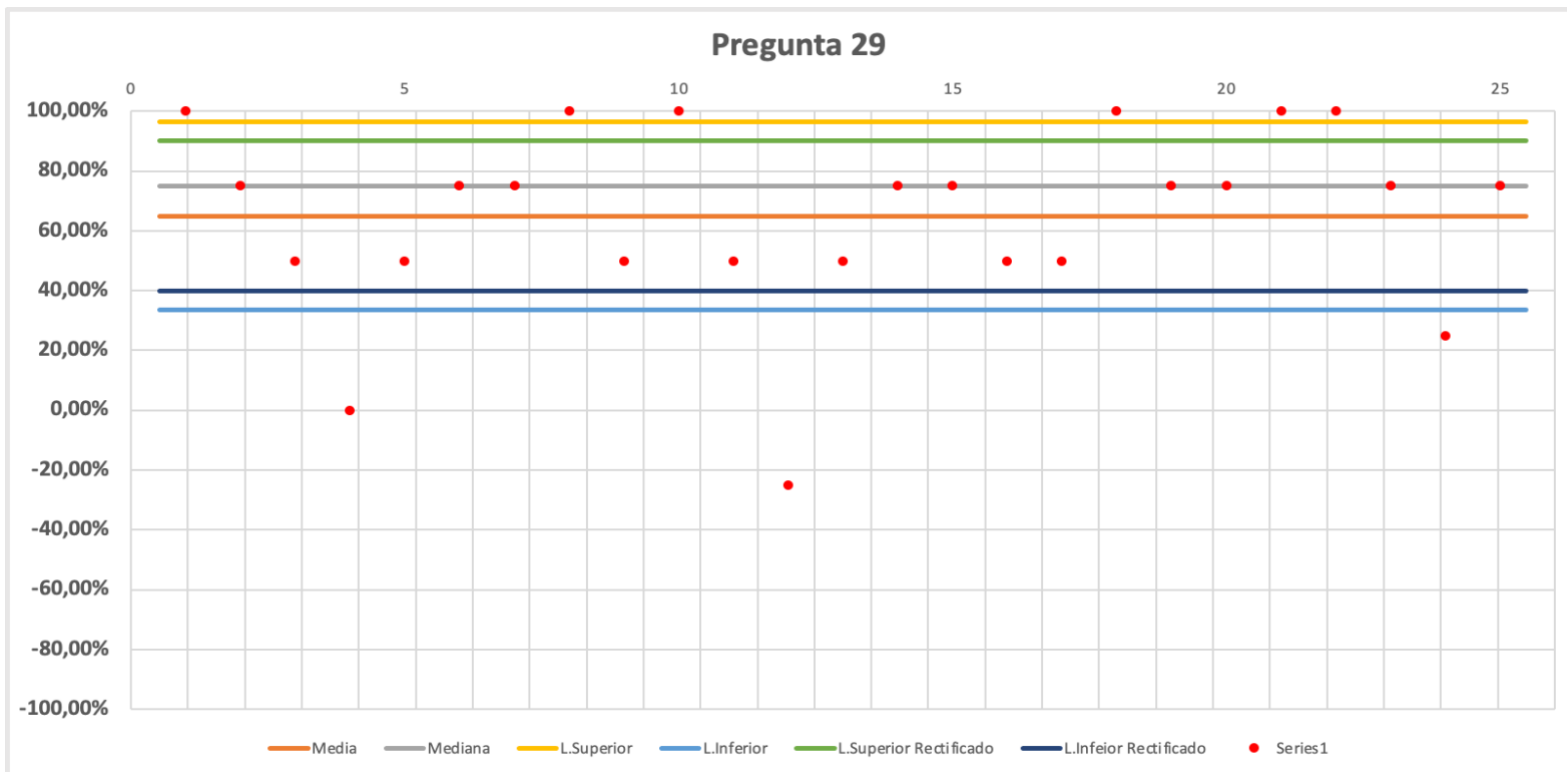
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	-31,81%
MEDIA	16,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	-22,24%
DESVIACIÓN TÍPICA	47,81%	LÍMITE SUPERIOR	63,81%
MEDIANA	25,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	54,24%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:11			

**Pregunta 28:** ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para promover el uso del hidrógeno en el transporte terrestre (vehículos pesados), incluyendo la colaboración internacional, incentivos a la compra de vehículos, desarrollo de infraestructura y apoyo a la industria automotriz?



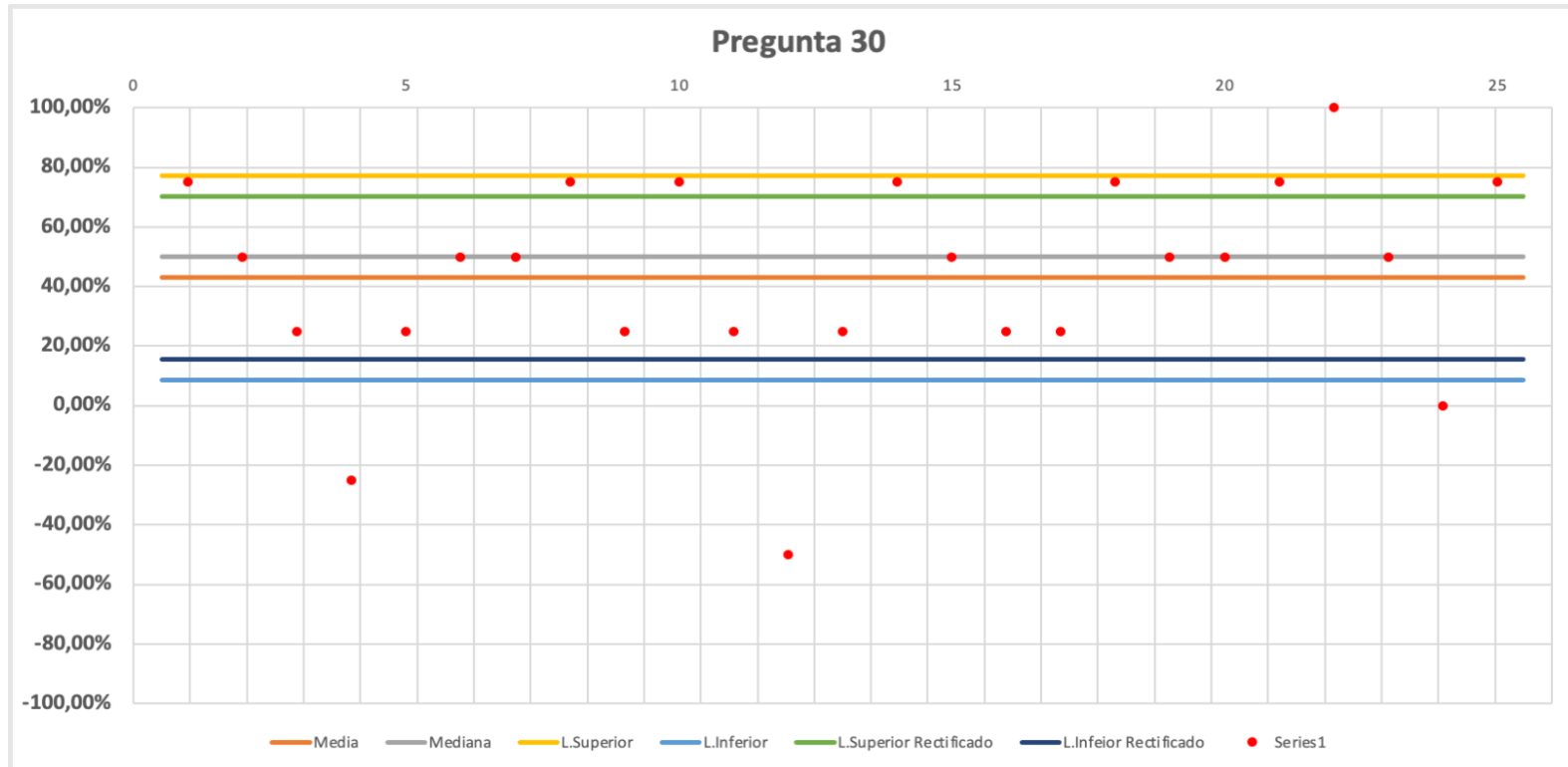
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	16,13%
MEDIA	41,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	21,10%
DESVIACIÓN TÍPICA	24,87%	LÍMITE SUPERIOR	65,87%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	60,90%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 29:** ¿Qué probabilidad asignarías, a que para el año 2040 en España se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para promover el uso del hidrógeno en el transporte marítimo, incluyendo la creación de reglas claras de homologación, el desarrollo de infraestructura portuaria de repostaje de hidrógeno, la promoción de tecnologías cero emisiones en los puertos y la asignación de ayudas para la construcción de buques impulsados por hidrógeno?



RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	33,54%
MEDIA	65,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	39,83%
DESVIACIÓN TÍPICA	31,46%	LÍMITE SUPERIOR	96,46%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	90,17%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:9			

**Pregunta 30:** ¿Qué probabilidad asignarías, a que para el año 2040 en España se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para fomentar el uso de hidrógeno renovable y biocombustibles de nueva generación en el transporte aéreo, incluyendo el desarrollo de plantas de producción de queroseno sintético, el análisis de modificaciones necesarias en las aeronaves y el establecimiento de requisitos ambientales en los aeropuertos?



RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	8,75%
MEDIA	43,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	15,60%
DESVIACIÓN TÍPICA	34,25%	LÍMITE SUPERIOR	77,25%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	70,40%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:11			

#### 5.2.4.4. Feedback

La finalidad del feedback es facilitar que el experto reevalúe las respuestas a preguntas que exceden los límites previamente definidos. Para ello, se proporcionó a cada experto las estadísticas del panel, incluyendo la media y la mediana, así como los límites superior e inferior rectificadas.

#### 5.2.4.5. Segunda ronda

Durante la segunda y última etapa del proyecto, se volvió a establecer contacto con los miembros del panel de expertos cuyas respuestas excedieron los límites previamente establecidos. Se elaboró un mensaje personalizado para cada uno, incluyendo un enlace a un cuestionario exclusivo. En este cuestionario, se señalaban las respuestas previas fuera de los límites establecidos, así como estos límites, la media y la mediana.

A continuación, se presentará en una tabla todas las respuestas obtenidas del cuestionario de la segunda ronda, completado por los 25 expertos.

Posteriormente, se presentará un resumen del análisis estadístico de cada pregunta, que incluirá:

- Gráfico de Respuestas:
  - Representación de la respuesta de cada experto.
  - La media
  - La mediana
  - Límites de aceptación
- Tabla resumen que presenta los siguientes valores numéricos:
  - N: Número de expertos que han evaluado la pregunta.
  - M: Media aritmética de las respuestas.
  - Mediana: Valor central de las respuestas.
  - $\sigma$ : Desviación estándar de las respuestas.
  - L.I. (Límite Inferior) y L.S. (Límite Superior): Rangos estadísticos básicos.
  - L.I.R. (Límite Inferior Rectificado) y L.S.R. (Límite Superior Rectificado): Ajustes basados en criterios específicos.

**Respuestas al cuestionario en la segunda ronda: Expertos 1 al 13**

	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 5	EXP 6	EXP 7	EXP 8	EXP 9	EXP 10	EXP 11	EXP 12	EXP 13
1	-100%	-50%		-100%		-100%		-100%		-100%		-100%	
2	100%					100%		100%					
3	75%			25%			25%	100%		75%	25%	25%	25%
4				50%				100%			50%	25%	50%
5		75%		50%			75%				75%	50%	50%
6				50%			75%	100%		75%		50%	
7	75%			50%		75%		75%				50%	75%
8	75%			50%				100%				25%	
9	100%	50%		50%			50%	100%			50%	75%	50%
10		75%		75%							75%	50%	
11		50%		50%	75%		25%	100%			75%	50%	
12		50%	100%	50%			50%	100%		50%		75%	50%
13	100%			50%	100%		75%	100%				50%	
14	100%				50%		75%					50%	
15			50%	50%	50%		75%	100%	75%		100%	50%	
16	100%						50%				100%	75%	
17	100%	75%	75%	50%			50%			75%		50%	
18	100%		100%		75%				75%			75%	
19	100%			75%				100%	75%			75%	100%
20				-25%				100%				50%	
21	-50%	25%		25%		-25%	25%	-50%	25%		25%	25%	25%
22				25%			50%					0%	
23		100%		75%		100%		100%				100%	
24				50%							50%	75%	
25	100%	50%		50%	50%			100%	50%			75%	50%
26	100%			50%		100%		100%			75%	50%	
27	50%			-75%				50%			-50%	-100%	
28	75%			25%	25%			75%			25%	0%	75%
29	100%		50%	50%	50%			100%	50%	100%	50%	50%	50%
30	75%			-25%				75%		75%		-50%	

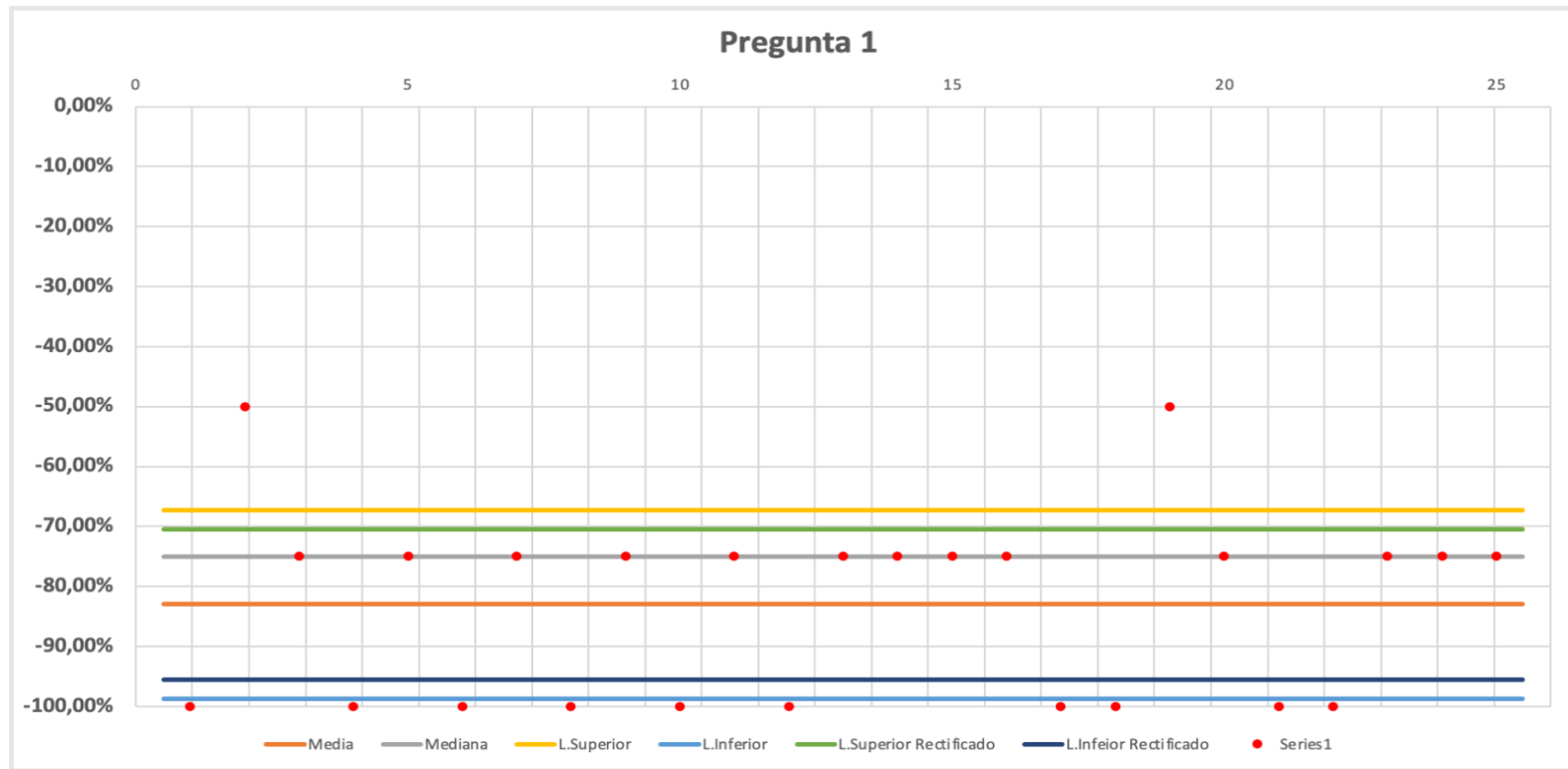
ESTIMACIONES QUE HAN SIDO MODIFICADAS	VALORES DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS
---------------------------------------	--

**Respuestas al cuestionario en la segunda ronda: Expertos 14 al 25**

	EXP 14	EXP 15	EXP 16	EXP 17	EXP 18	EXP 19	EXP 20	EXP 21	EXP 22	EXP 23	EXP 24	EXP 25
1		-75%		-100%	-100%	-50%		-100%	-100%			-75%
2			100%		100%			100%	100%			
3	25%	75%	25%		75%	75%		100%	75%	25%	50%	75%
4						75%		100%		50%	50%	75%
5			100%		100%		100%		100%		100%	
6	75%		75%	50%				100%		75%		
7	50%	75%			75%	50%	50%	75%	75%			75%
8					100%						50%	
9	50%			50%			50%	100%	100%	50%	50%	
10			100%		100%	100%	100%			50%	100%	
11	50%				100%			100%		75%		
12	50%			50%	100%			100%		50%	75%	
13			100%		100%			100%			50%	
14			75%		100%			100%	75%		50%	
15	50%		100%	75%				100%		50%	50%	
16	75%		100%	100%				100%		50%		100%
17	50%				100%			75%		50%		75%
18	50%				100%					50%		
19	75%				100%	100%		100%	100%	75%		
20	50%							100%			50%	
21	50%		25%		-75%			-75%		0%	25%	-50%
22	50%			50%				100%			50%	
23			100%		100%	100%	100%	100%		75%		100%
24	50%									50%	75%	
25	50%		100%	50%			50%	100%			50%	
26	50%		100%		100%	100%		100%	100%		75%	100%
27		50%		50%	25%	50%	50%	75%	50%			25%
28	50%			50%	75%		25%			25%	25%	
29			50%	50%	100%			100%	100%		75%	
30	50%				75%			50%	100%		0%	25%

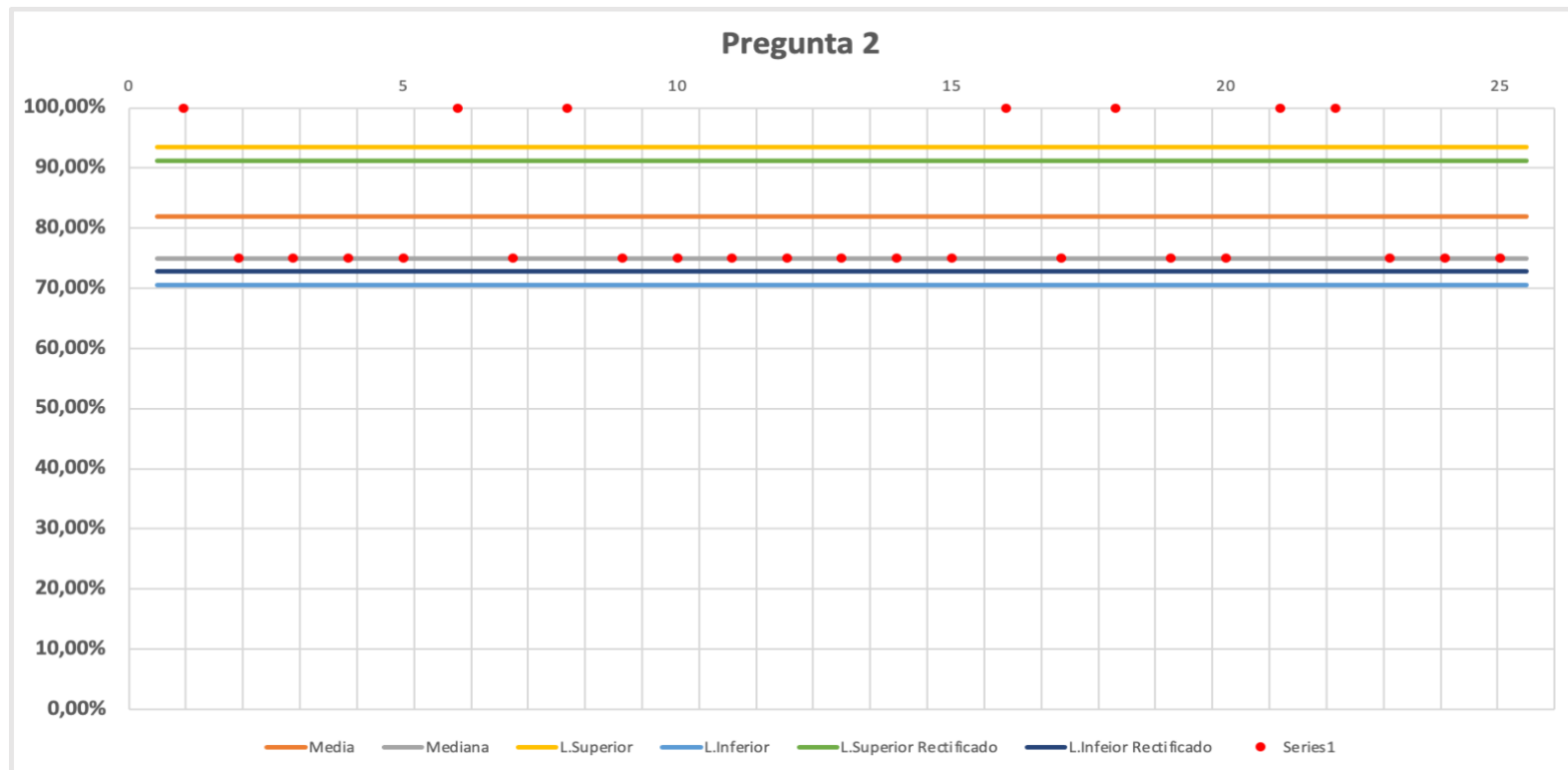
ESTIMACIONES QUE HAN SIDO MODIFICADAS	VALORES DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS
---------------------------------------	--

**Pregunta 1:** ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, el papel del hidrógeno verde sea mínimo, limitándose principalmente a la validación de tecnología y proyectos de investigación y desarrollo, a pesar de la disponibilidad de energías renovables y el potencial de reducción de gases de efecto invernadero?



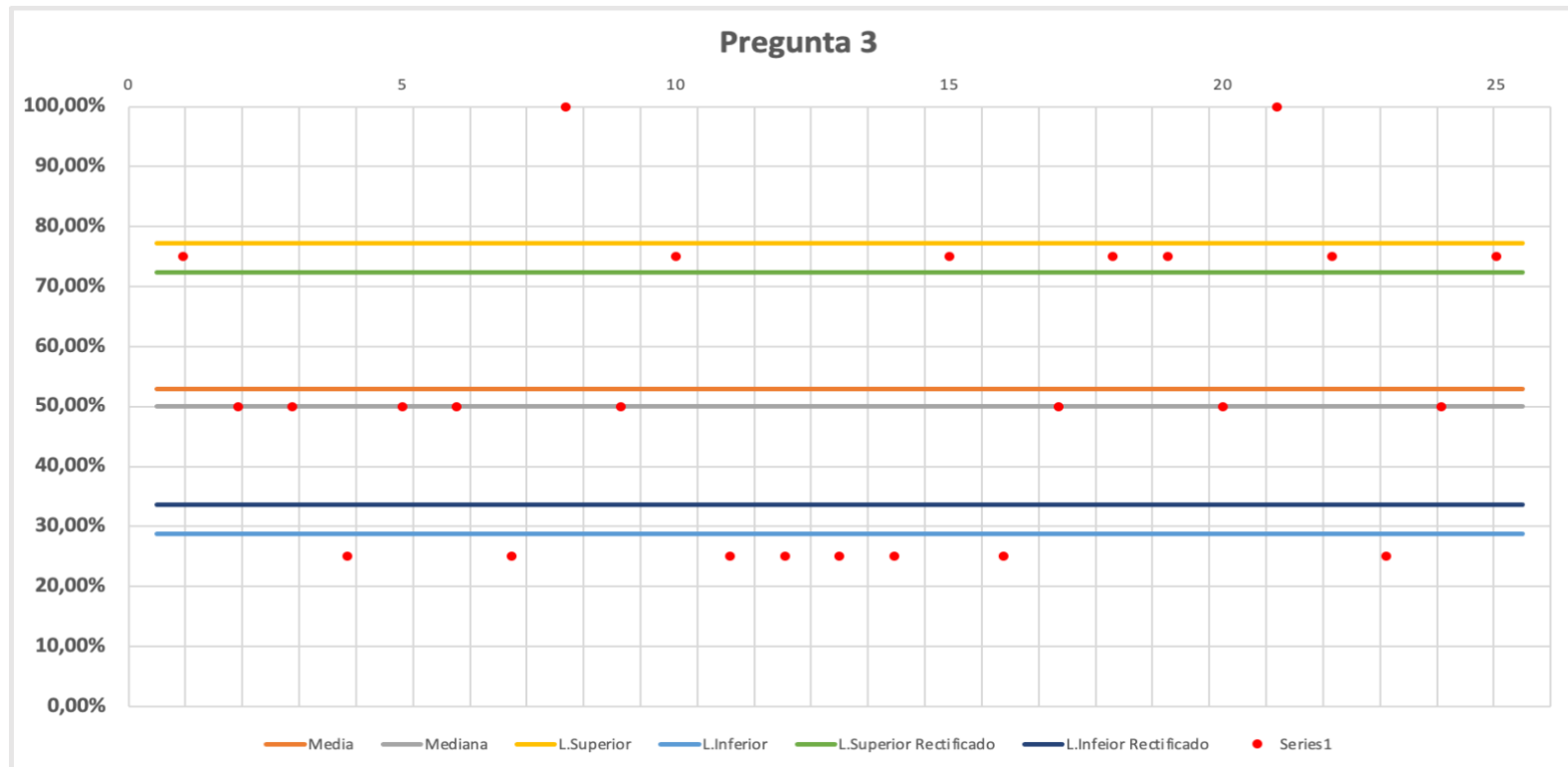
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	-98,68%
MEDIA	-83,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	-95,54%
DESVIACIÓN TÍPICA	15,68%	LÍMITE SUPERIOR	-67,32%
MEDIANA	-75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	-70,46%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:12			

**Pregunta 2:** ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, el hidrógeno verde gane una relevancia creciente en las industrias difíciles de descarbonizar debido a sus propiedades físicas, su amplia variedad de aplicaciones y su complementariedad con la electricidad baja en carbono?



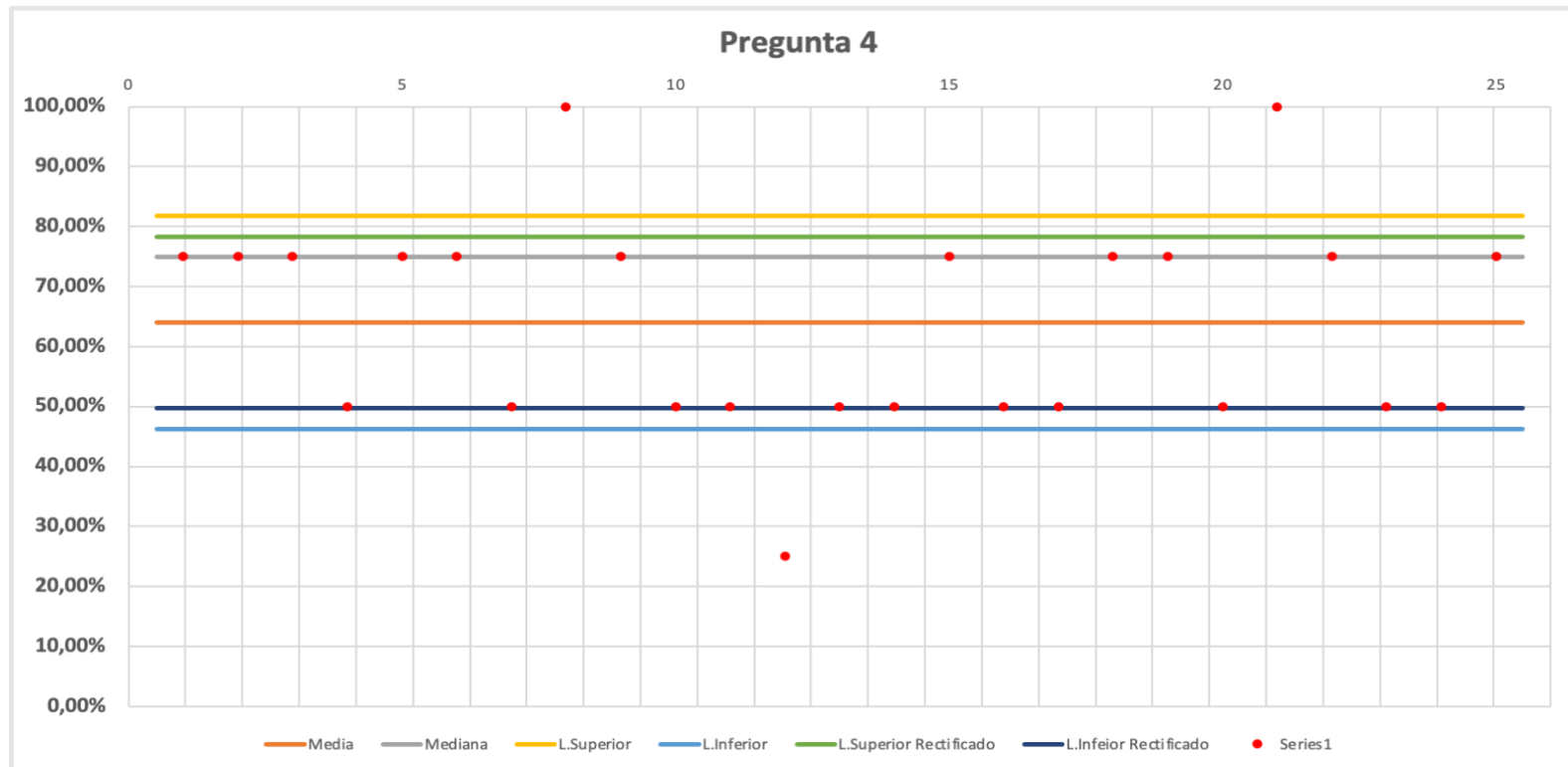
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	70,54%
MEDIA	82,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	72,83%
DESVIACIÓN TÍPICA	11,46%	LÍMITE SUPERIOR	93,46%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	91,17%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 3:** ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se observe una transformación donde el hidrógeno verde satisfaga cada vez más la demanda, incluso en áreas que históricamente han sido difíciles de abastecer con hidrógeno?



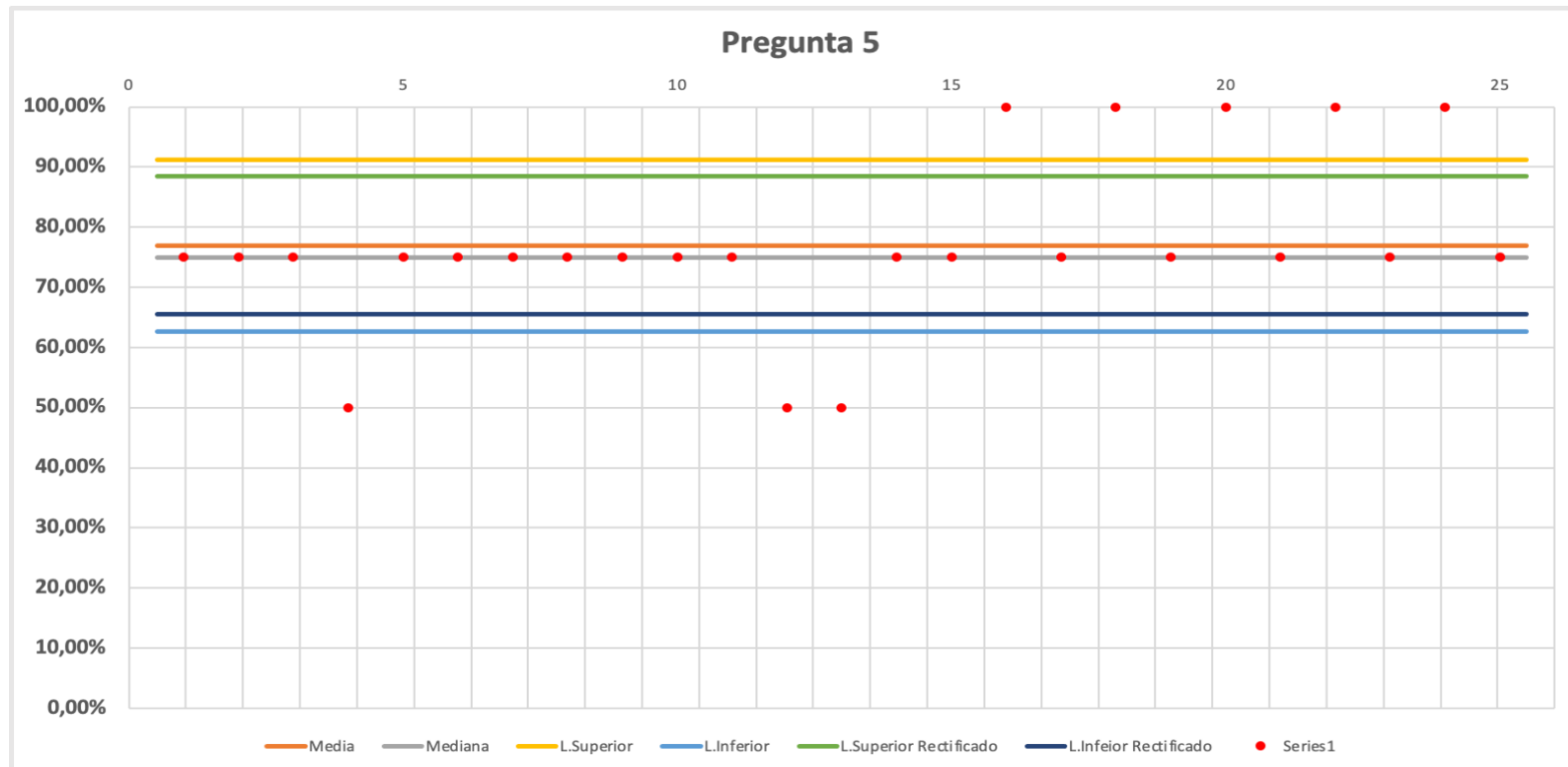
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	28,72%
MEDIA	53,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	33,57%
DESVIACIÓN TÍPICA	24,28%	LÍMITE SUPERIOR	77,28%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	72,43%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:17			

**Pregunta 4:** ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se haya logrado una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero gracias al uso generalizado de hidrógeno verde?



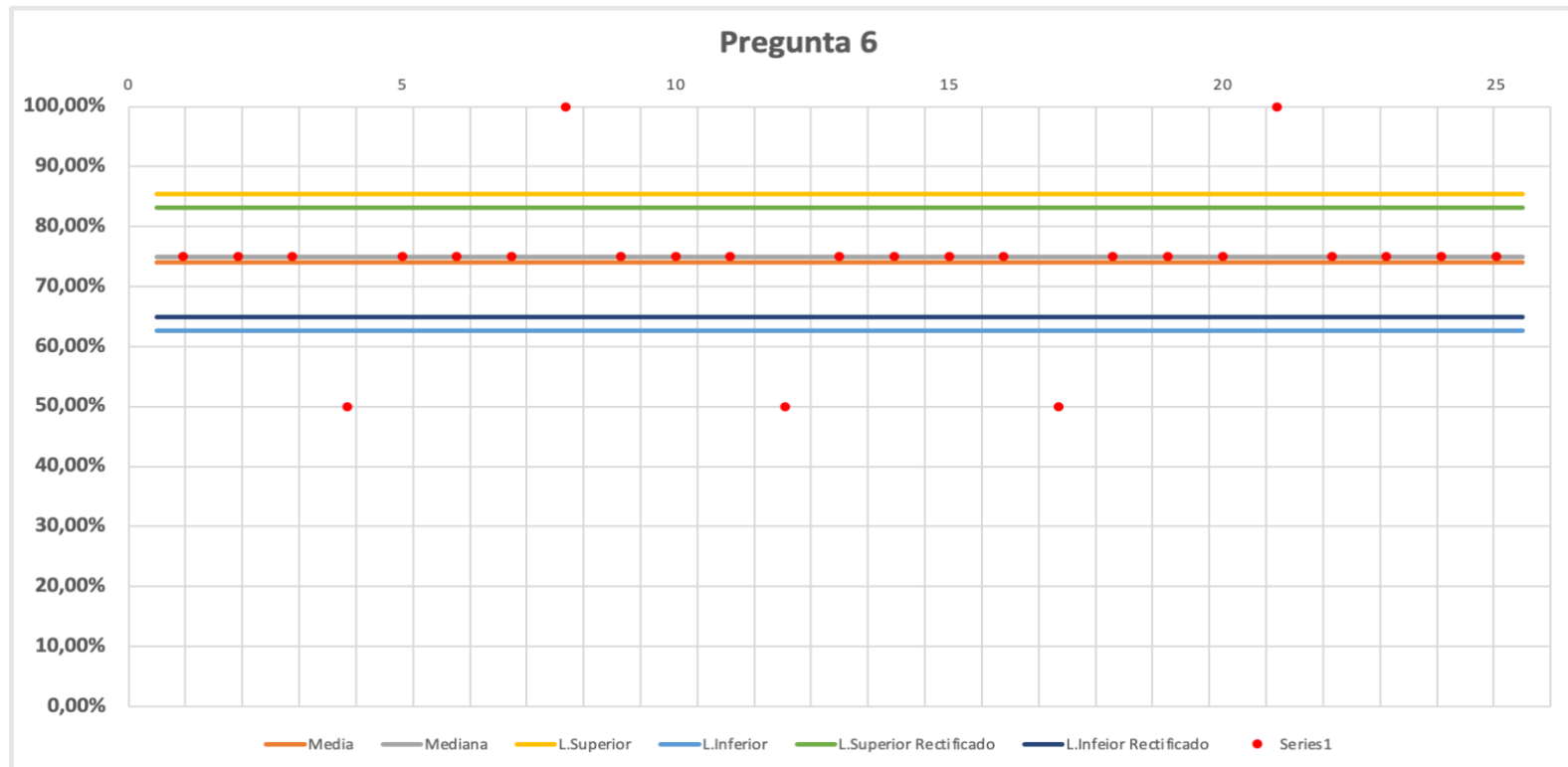
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	46,20%
MEDIA	64,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	49,76%
DESVIACIÓN TÍPICA	17,80%	LÍMITE SUPERIOR	81,80%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	78,24%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:3			

**Pregunta 5:** ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 en España se haya desarrollado ampliamente la cadena de valor de la economía del hidrógeno, consolidando al país como referente tecnológico?



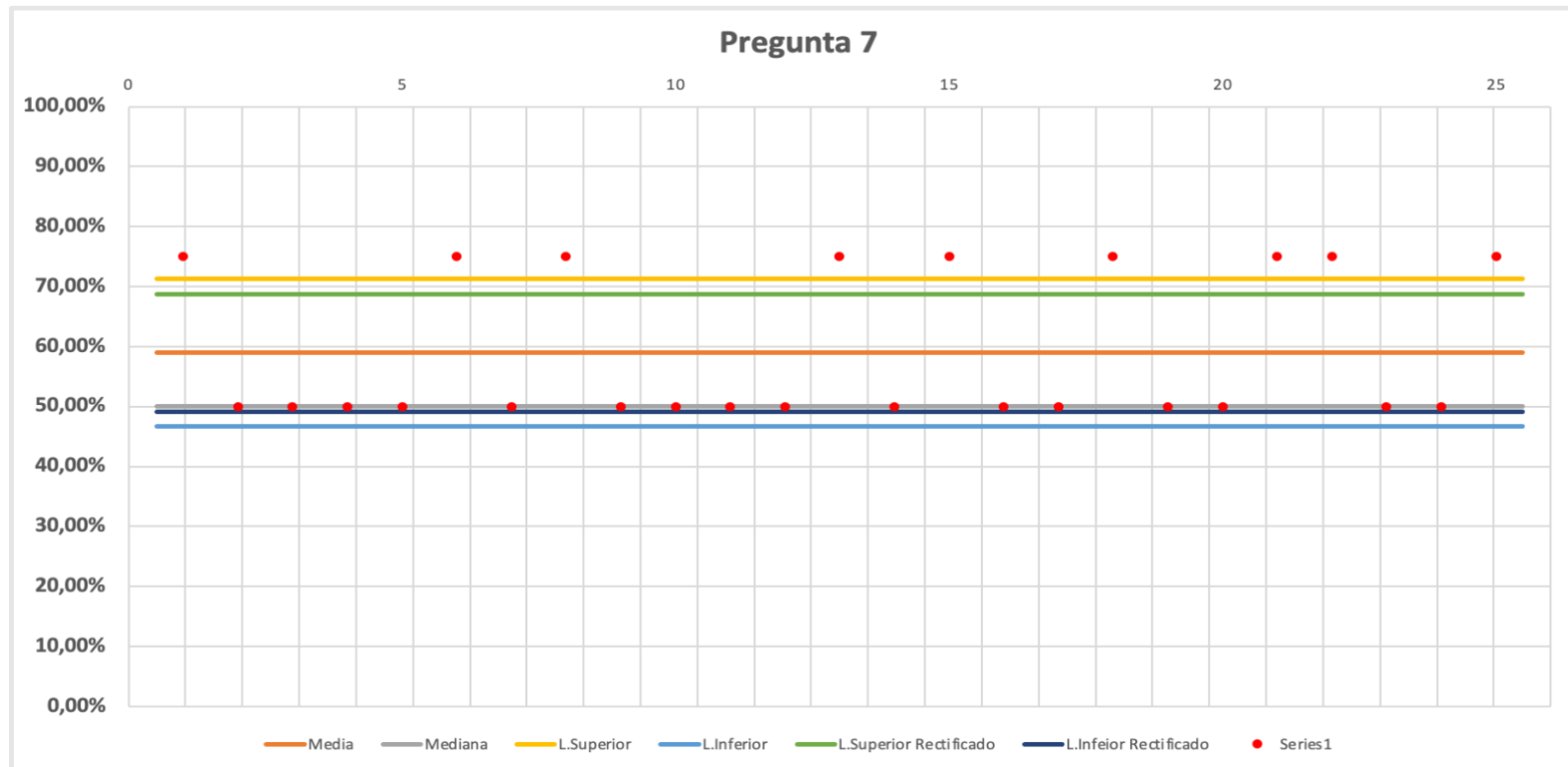
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	62,71%
MEDIA	77,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	65,57%
DESVIACIÓN TÍPICA	14,29%	LÍMITE SUPERIOR	91,29%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	88,43%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:8			

**Pregunta 6:** ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se hayan desarrollado tecnologías de almacenamiento de energía basadas en hidrógeno verde a gran escala, demostrando ser una solución eficaz para la integración de energías renovables intermitentes en el sistema energético español?



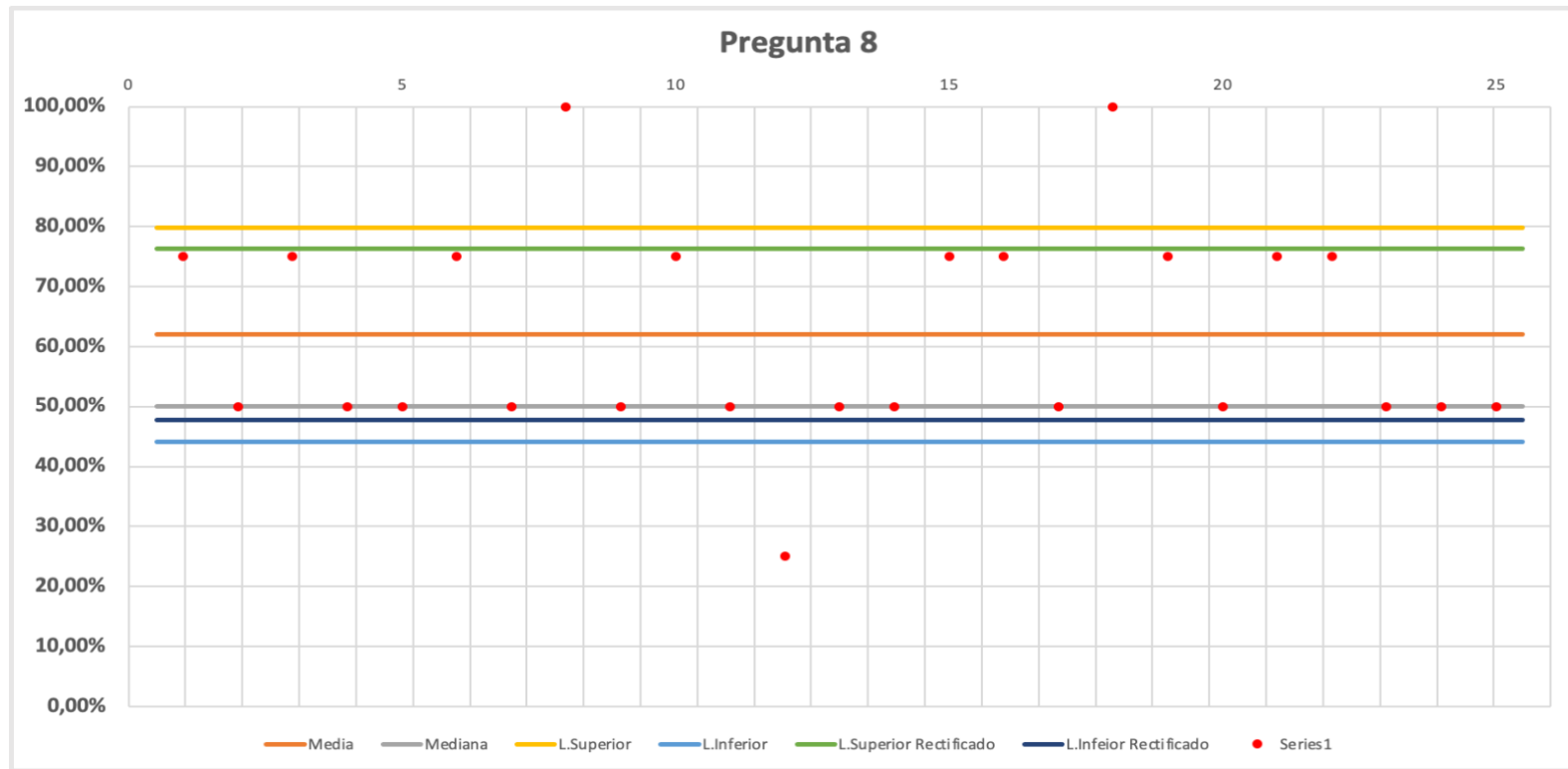
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	62,63%
MEDIA	74,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	64,91%
DESVIACIÓN TÍPICA	11,37%	LÍMITE SUPERIOR	85,37%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	83,09%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:5			

**Pregunta 7:** ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, se haya reducido significativamente la dependencia de importaciones energéticas fósiles mediante la producción autóctona de hidrógeno renovable?



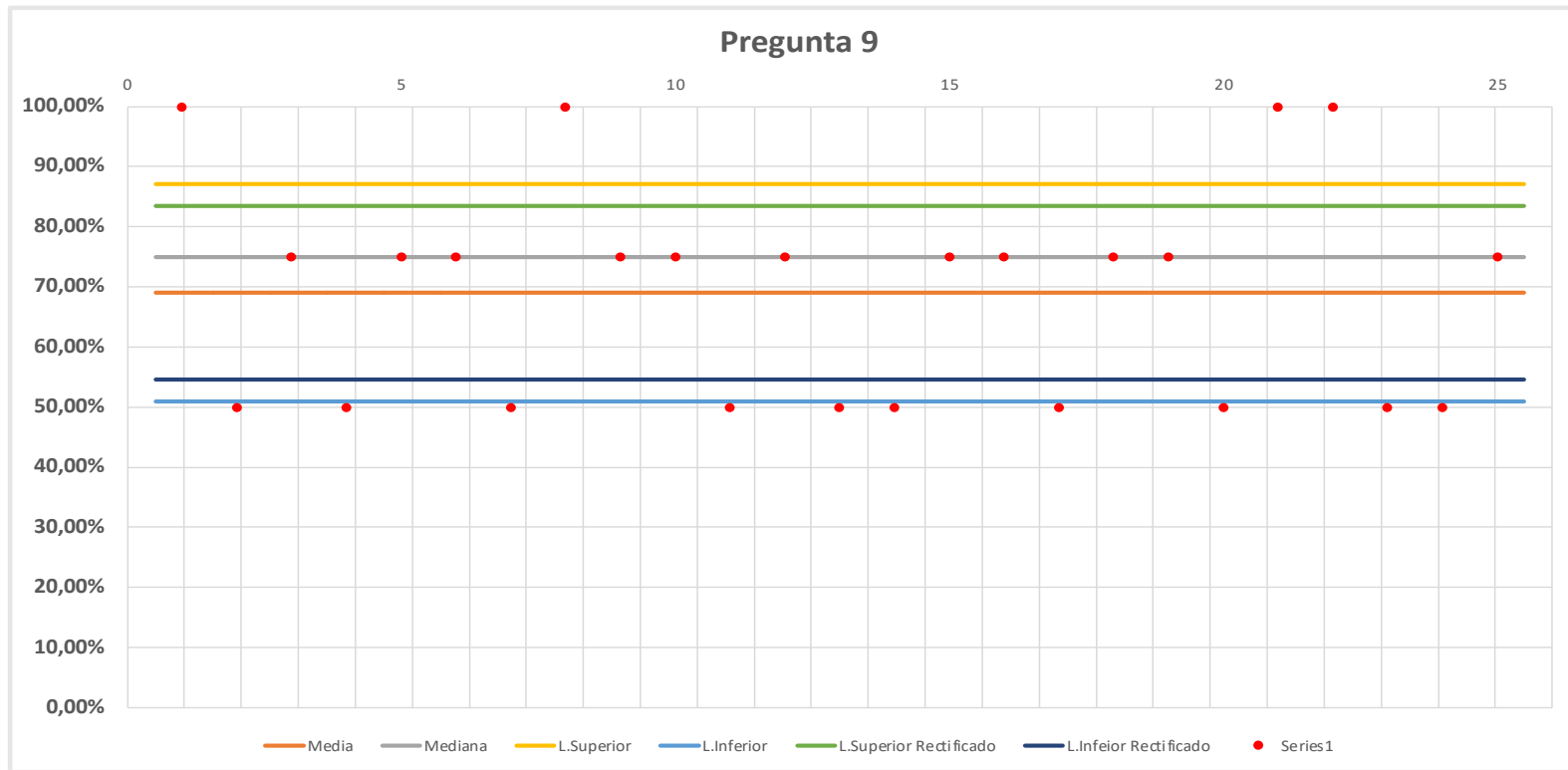
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	46,75%
MEDIA	59,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	49,20%
DESVIACIÓN TÍPICA	12,25%	LÍMITE SUPERIOR	71,25%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	68,80%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:9			

**Pregunta 8:** ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040, España se convierta en uno de los principales productores y exportadores de hidrógeno verde en Europa?



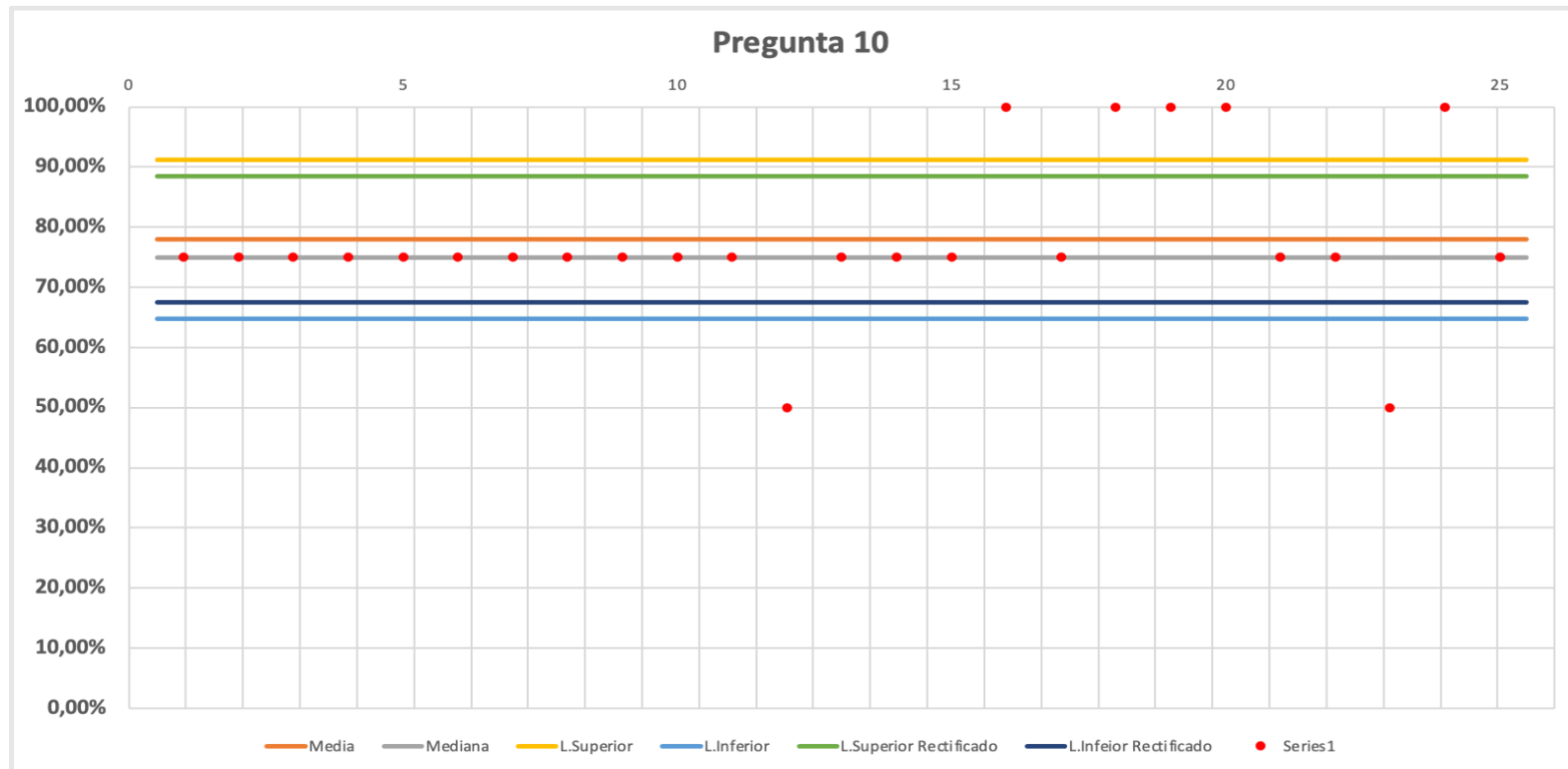
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	44,15%
MEDIA	62,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	47,72%
DESVIACIÓN TÍPICA	17,85%	LÍMITE SUPERIOR	79,85%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	76,28%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:3			

**Pregunta 9:** ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, el hidrógeno verde juegue un papel significativo en la descarbonización de sistemas energéticos aislados, con un enfoque especial en territorios insulares?



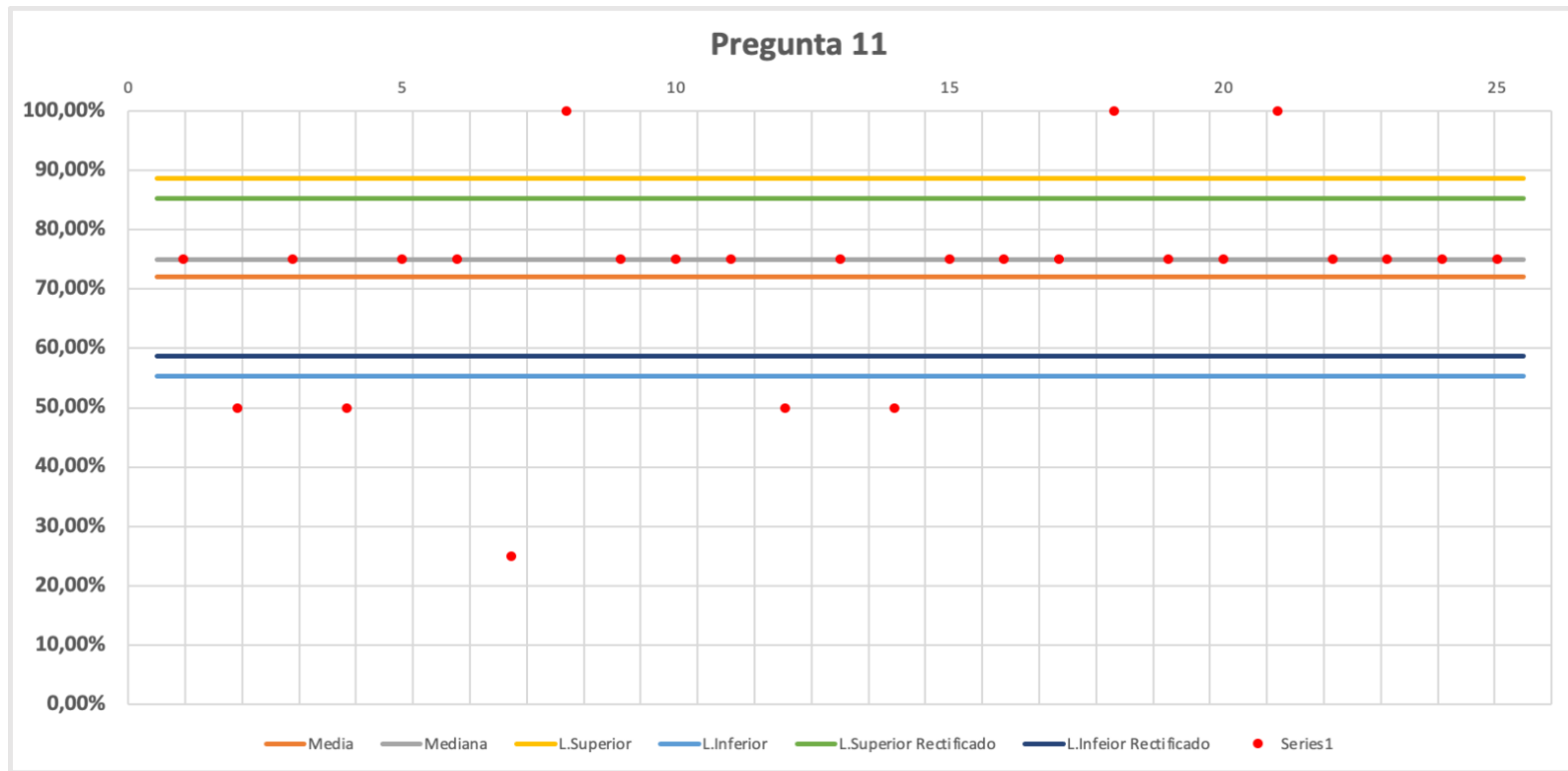
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	50,91%
MEDIA	69,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	54,53%
DESVIACIÓN TÍPICA	18,09%	LÍMITE SUPERIOR	87,09%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	83,47%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:14			

**Pregunta 10:** ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, se logre potenciar la investigación, desarrollo e innovación en el ámbito energético, fortaleciendo el liderazgo de las empresas e industrias españolas en tecnologías relacionadas con el hidrógeno renovable?



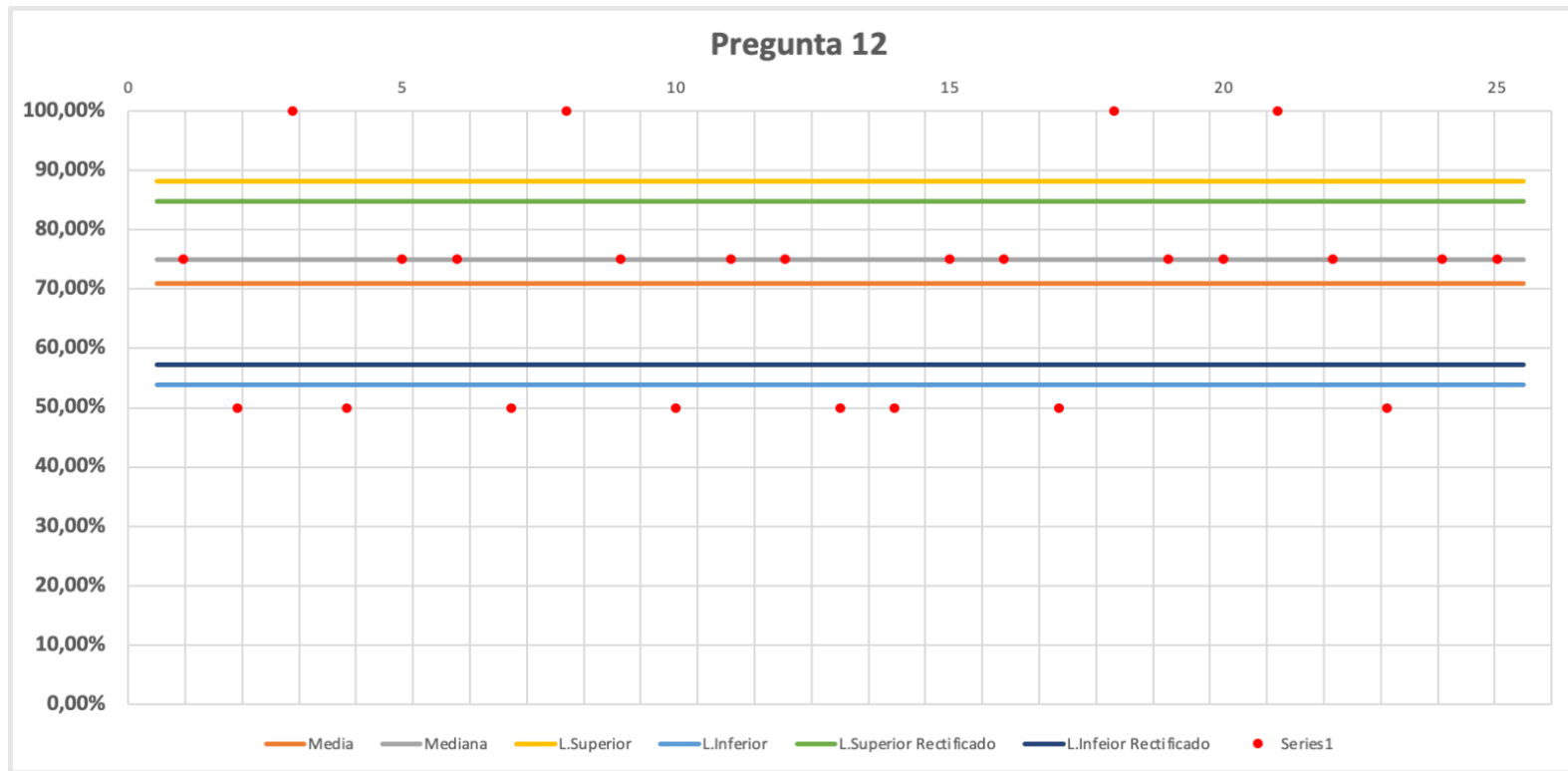
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	64,85%
MEDIA	78,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	67,48%
DESVIACIÓN TÍPICA	13,15%	LÍMITE SUPERIOR	91,15%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	88,52%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 11:** ¿Qué probabilidad existe de que, en España, para el año 2040, se genere una demanda significativa de hidrogeno verde que permita alcanzar un equilibrio adecuado entre la oferta y la demanda, facilitando así la consolidación de un mercado del hidrógeno?



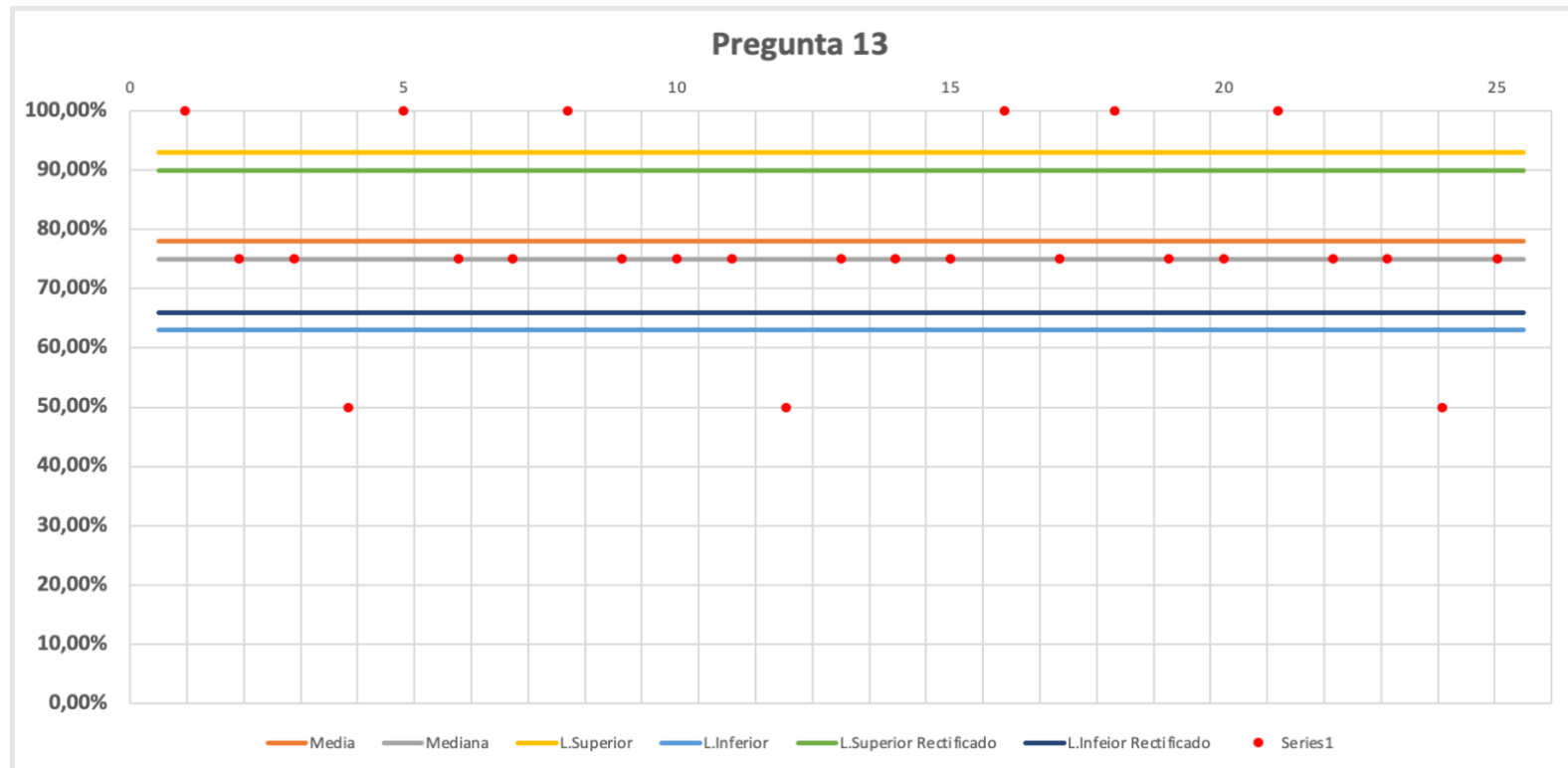
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	55,35%
MEDIA	72,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	58,68%
DESVIACIÓN TÍPICA	16,65%	LÍMITE SUPERIOR	88,65%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	85,32%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:8			

**Pregunta 12:** ¿Cuál es la probabilidad de que, en España, para el año 2040, las autoridades locales, en colaboración con la industria y las empresas del sector energético, hayan realizado una gran cantidad de proyectos de demostración de hidrógeno para promover el crecimiento de las comunidades relacionadas con esta tecnología?



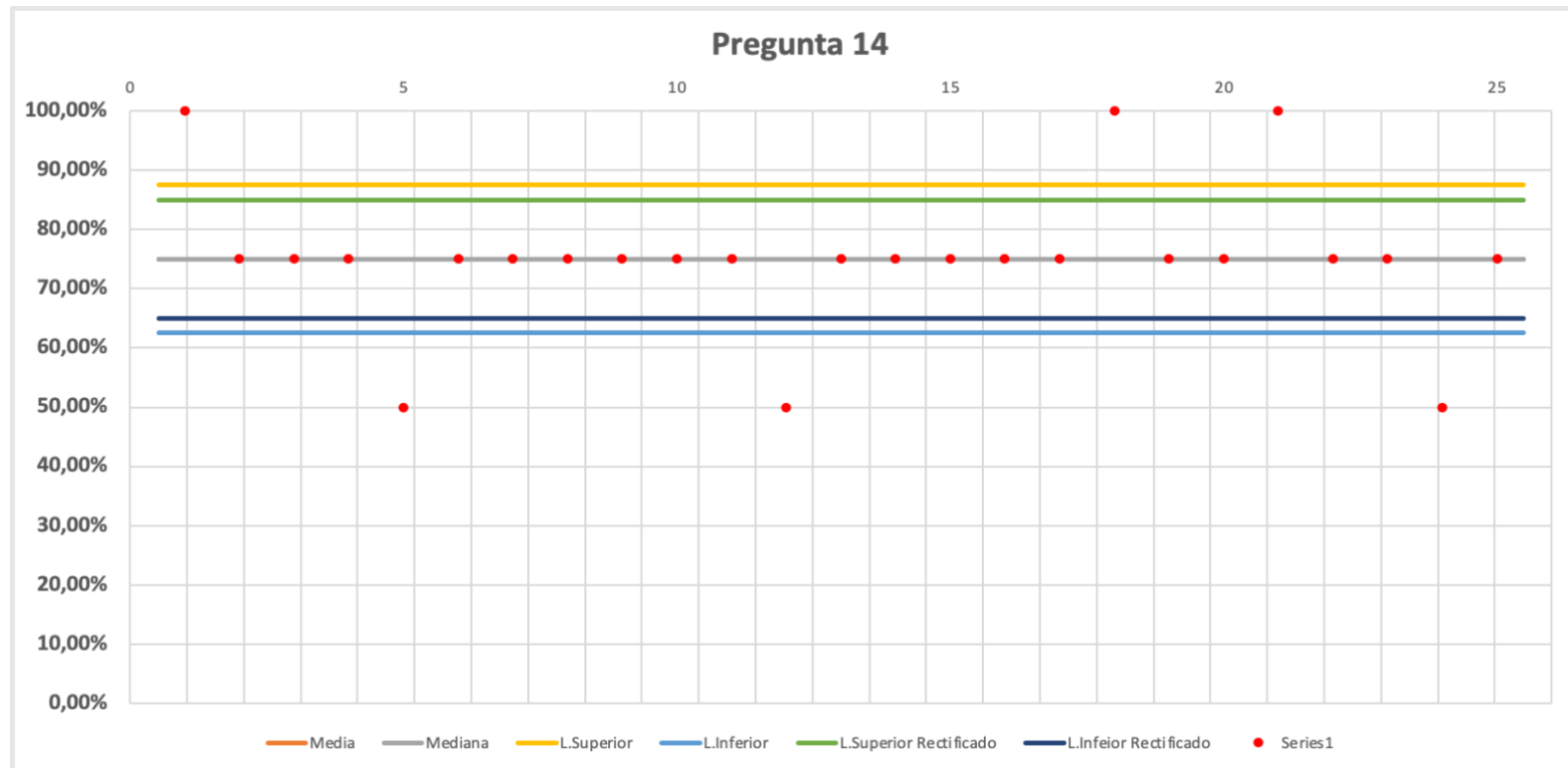
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	53,80%
MEDIA	71,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	57,24%
DESVIACIÓN TÍPICA	17,20%	LÍMITE SUPERIOR	88,20%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	84,76%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:12			

**Pregunta 13:** ¿Cuál es la probabilidad de que el hidrógeno verde haya alcanzado un alto nivel de aceptación pública y apoyo para 2040 en España?



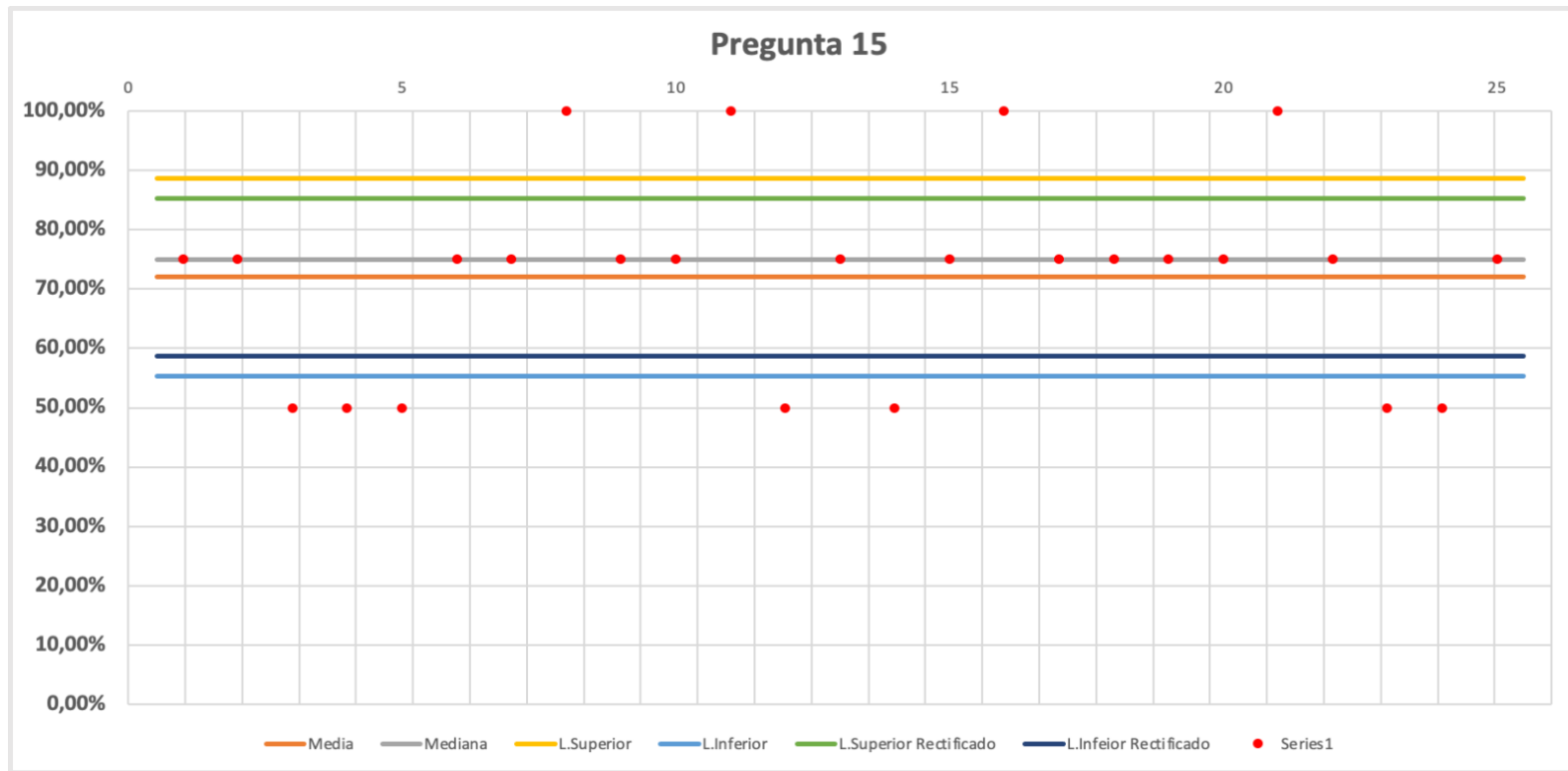
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	63,00%
MEDIA	78,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	66,00%
DESVIACIÓN TÍPICA	15,00%	LÍMITE SUPERIOR	93,00%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	90,00%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:9			

**Pregunta 14:** ¿Qué tan probable es que España pueda atraer inversores a su economía de hidrógeno verde para el año 2040, considerando la necesidad de una hoja de ruta clara, garantías sólidas para las inversiones y una planificación adecuada para cumplir con los objetivos energéticos a largo plazo?



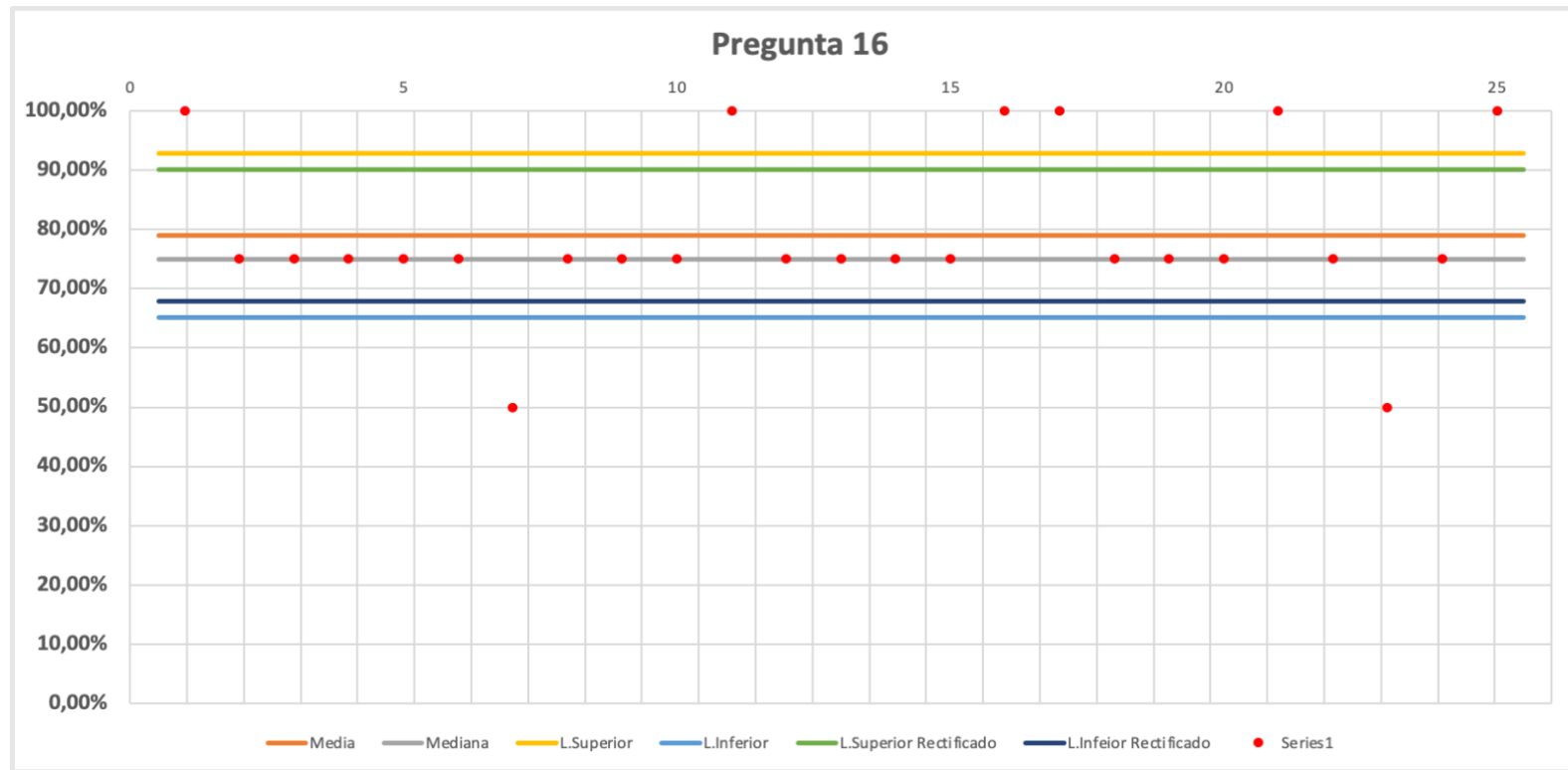
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	62,50%
MEDIA	75,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	65,00%
DESVIACIÓN TÍPICA	12,50%	LÍMITE SUPERIOR	87,50%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	85,00%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:6			

**Pregunta 15:** ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 en España se realice una adaptación efectiva de las infraestructuras gasistas para el almacenamiento y transporte de hidrógeno y gases sintéticos?



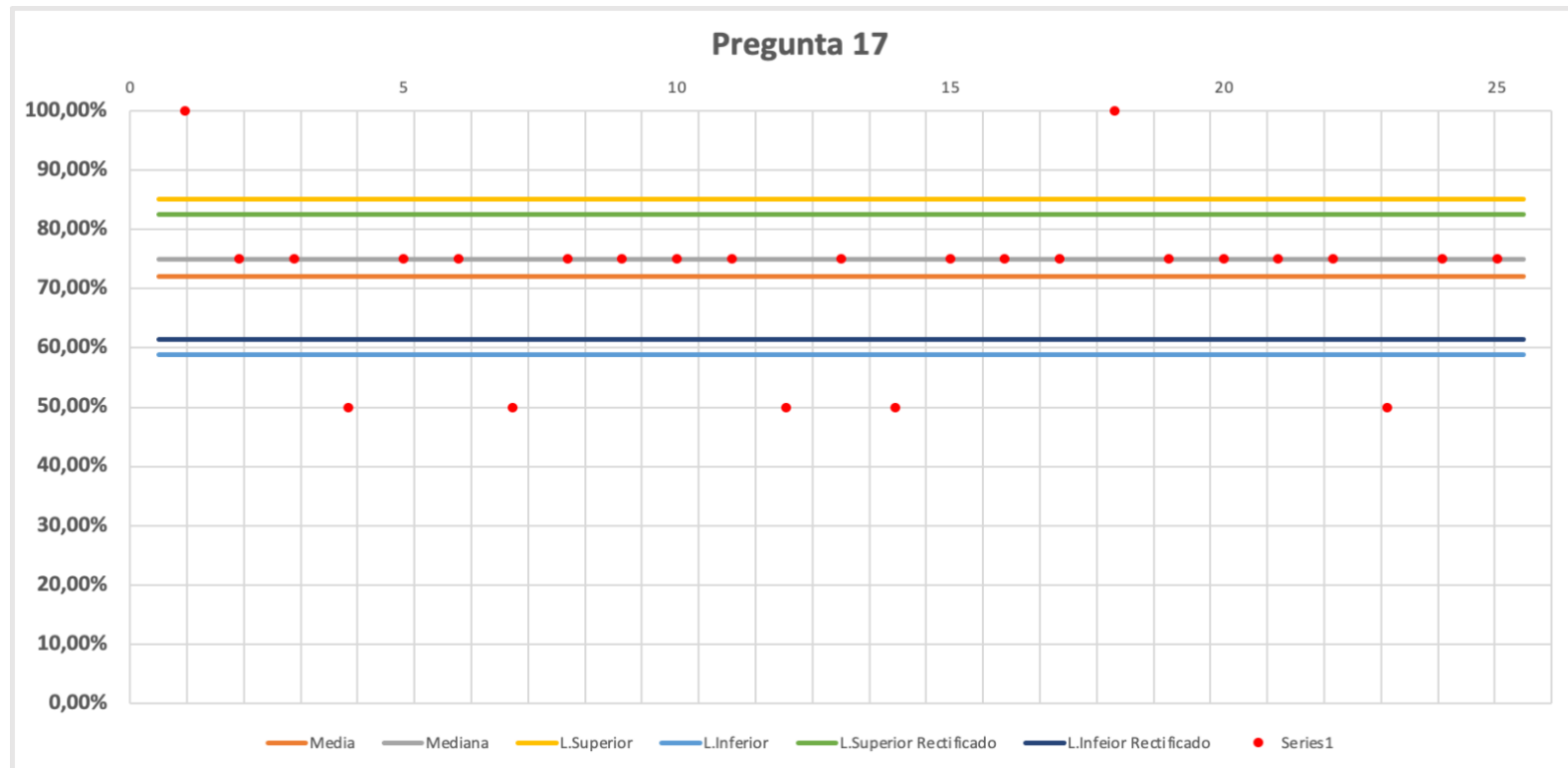
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	55,35%
MEDIA	72,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	58,68%
DESVIACIÓN TÍPICA	16,65%	LÍMITE SUPERIOR	88,65%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	85,32%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:11			

**Pregunta 16:** ¿Qué probabilidad asignarías a que para el año 2040 en España se implementen regulaciones específicas y normativas técnicas que impulsen el despliegue de tecnologías del hidrógeno, abordando aspectos de seguridad y condiciones de uso?



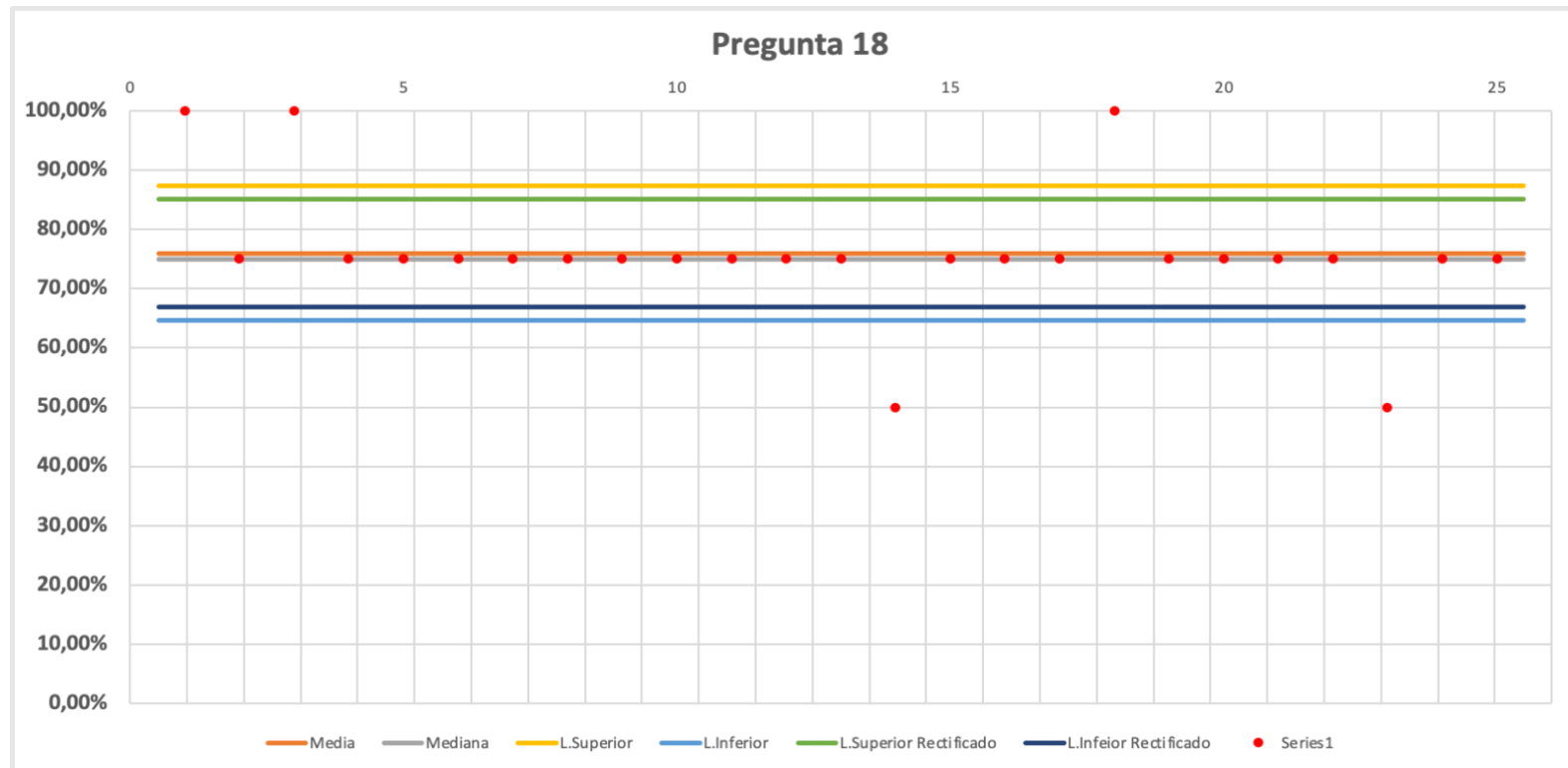
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	65,16%
MEDIA	79,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	67,92%
DESVIACIÓN TÍPICA	13,84%	LÍMITE SUPERIOR	92,84%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	90,08%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:8			

**Pregunta 17:** ¿Qué tan probable es que en España se establezcan regulaciones tarifarias e impositivas favorables para el hidrógeno como producto energético, considerando su potencial para sustituir fuentes de energía convencionales, para el año 2040?



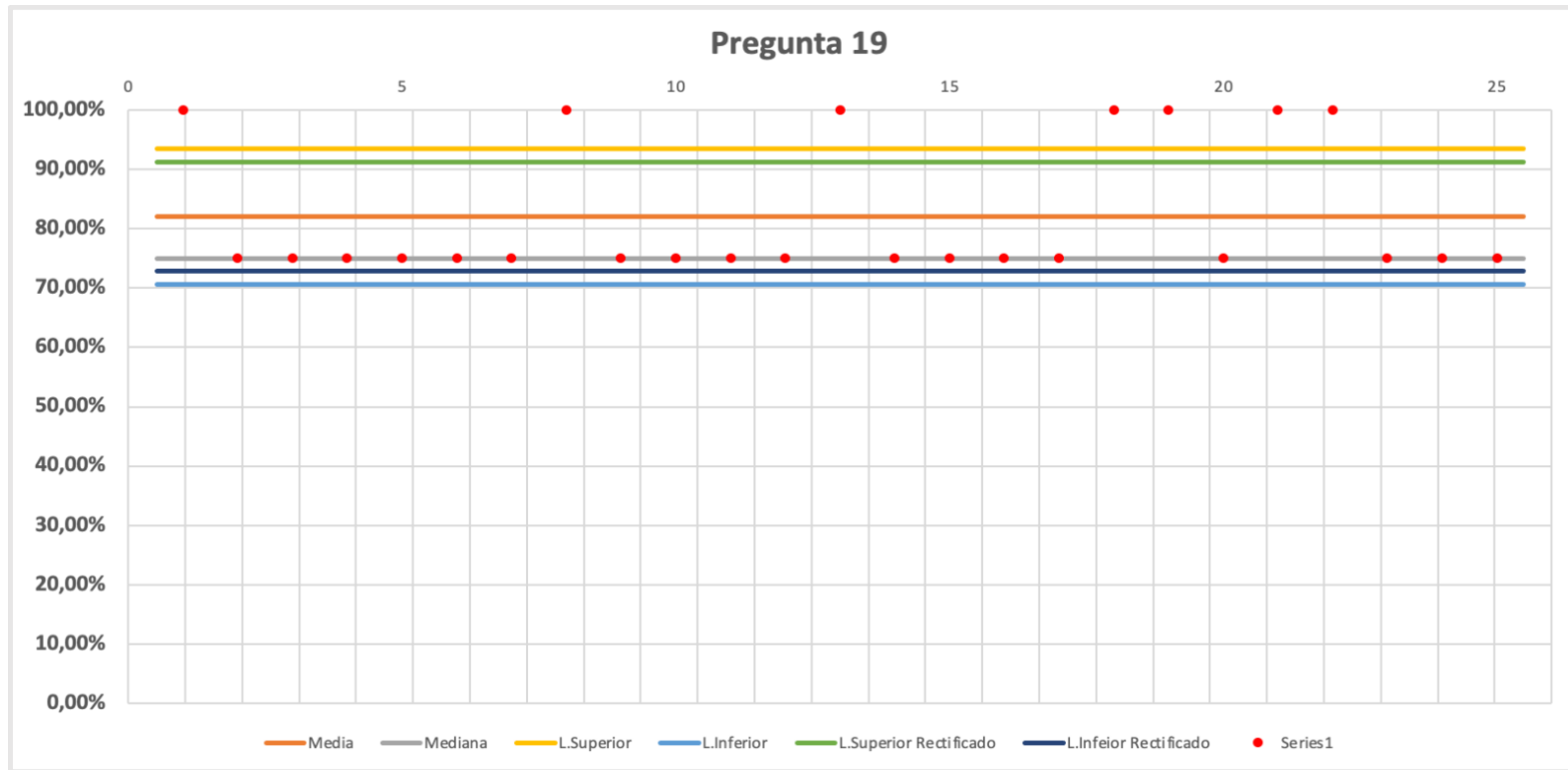
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	58,85%
MEDIA	72,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	61,48%
DESVIACIÓN TÍPICA	13,15%	LÍMITE SUPERIOR	85,15%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	82,52%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 18:** ¿Cuál es la probabilidad de que el hidrógeno verde haya contribuido de manera significativa a la creación de empleo en España para 2040?



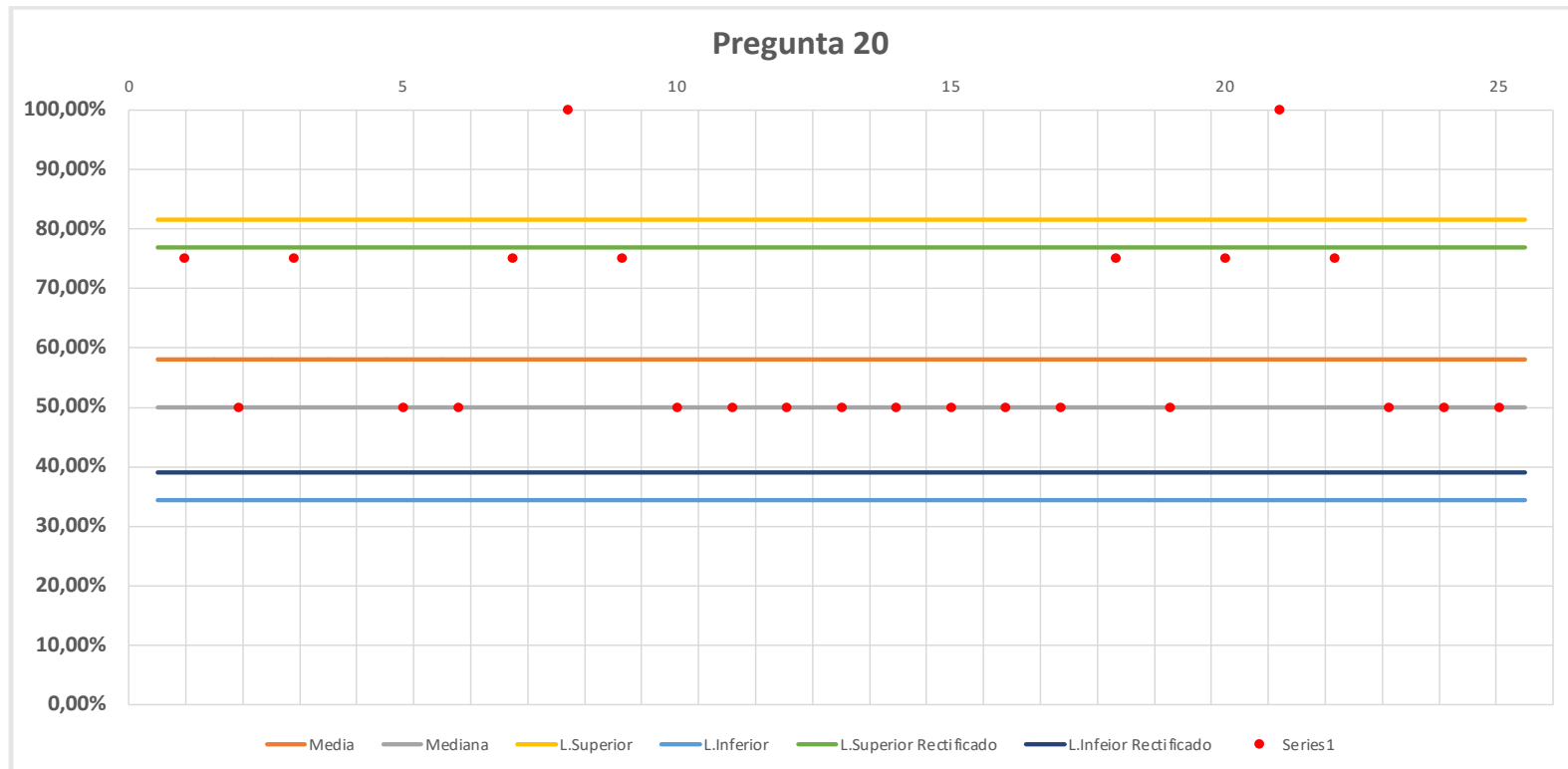
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	64,63%
MEDIA	76,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	66,91%
DESVIACIÓN TÍPICA	11,37%	LÍMITE SUPERIOR	87,37%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	85,09%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:5			

**Pregunta 19:** ¿Qué probabilidad hay de que España tenga acceso a una amplia oferta de energías renovables de bajo coste para el año 2040?



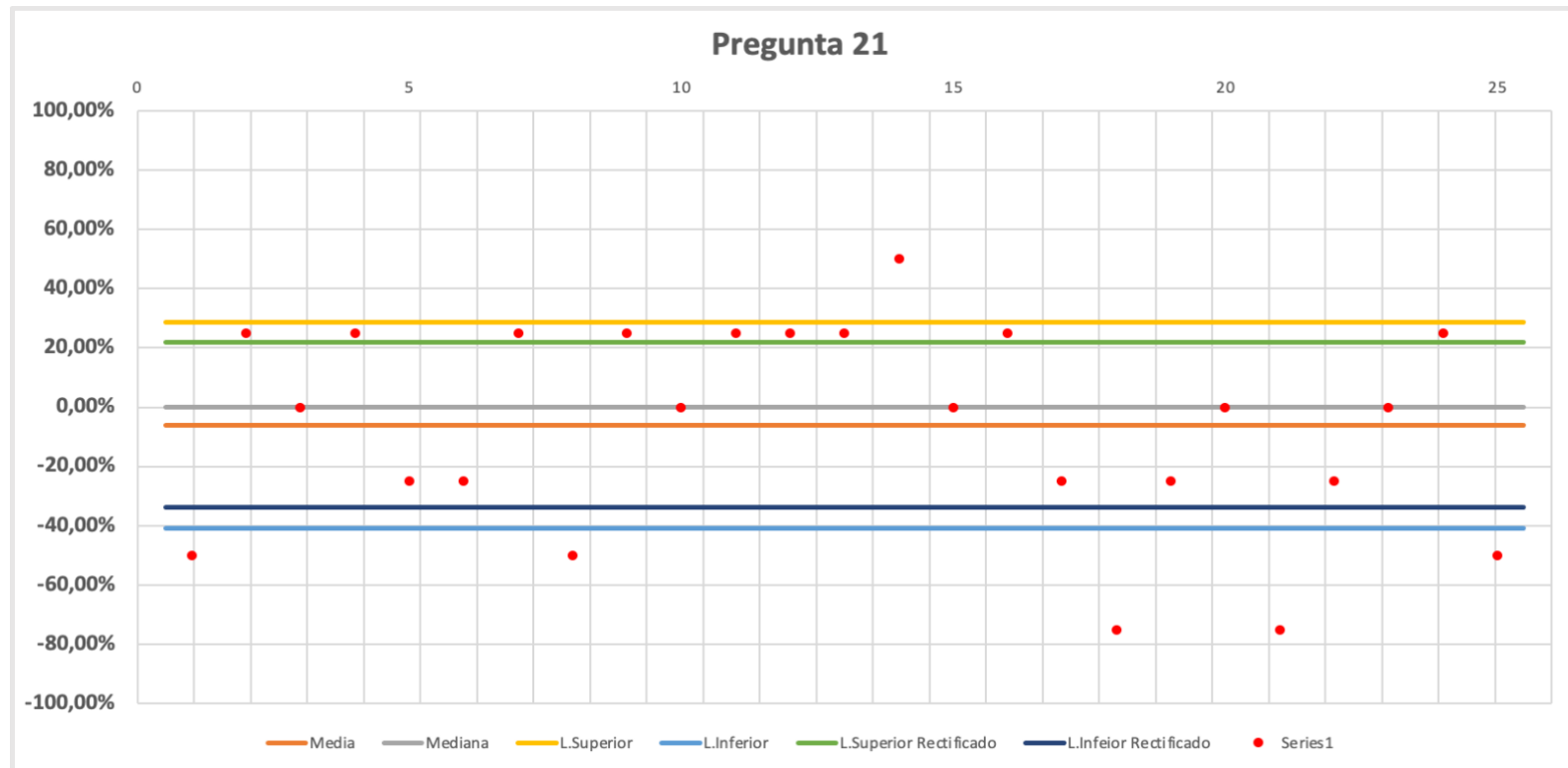
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	70,54%
MEDIA	82,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	72,83%
DESVIACIÓN TÍPICA	11,46%	LÍMITE SUPERIOR	93,46%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	91,17%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:7			

**Pregunta 20:** ¿Cuál es la probabilidad de que el tamaño del mercado de hidrógeno verde en España para el año 2040 represente más del 20% del consumo total de energía final?



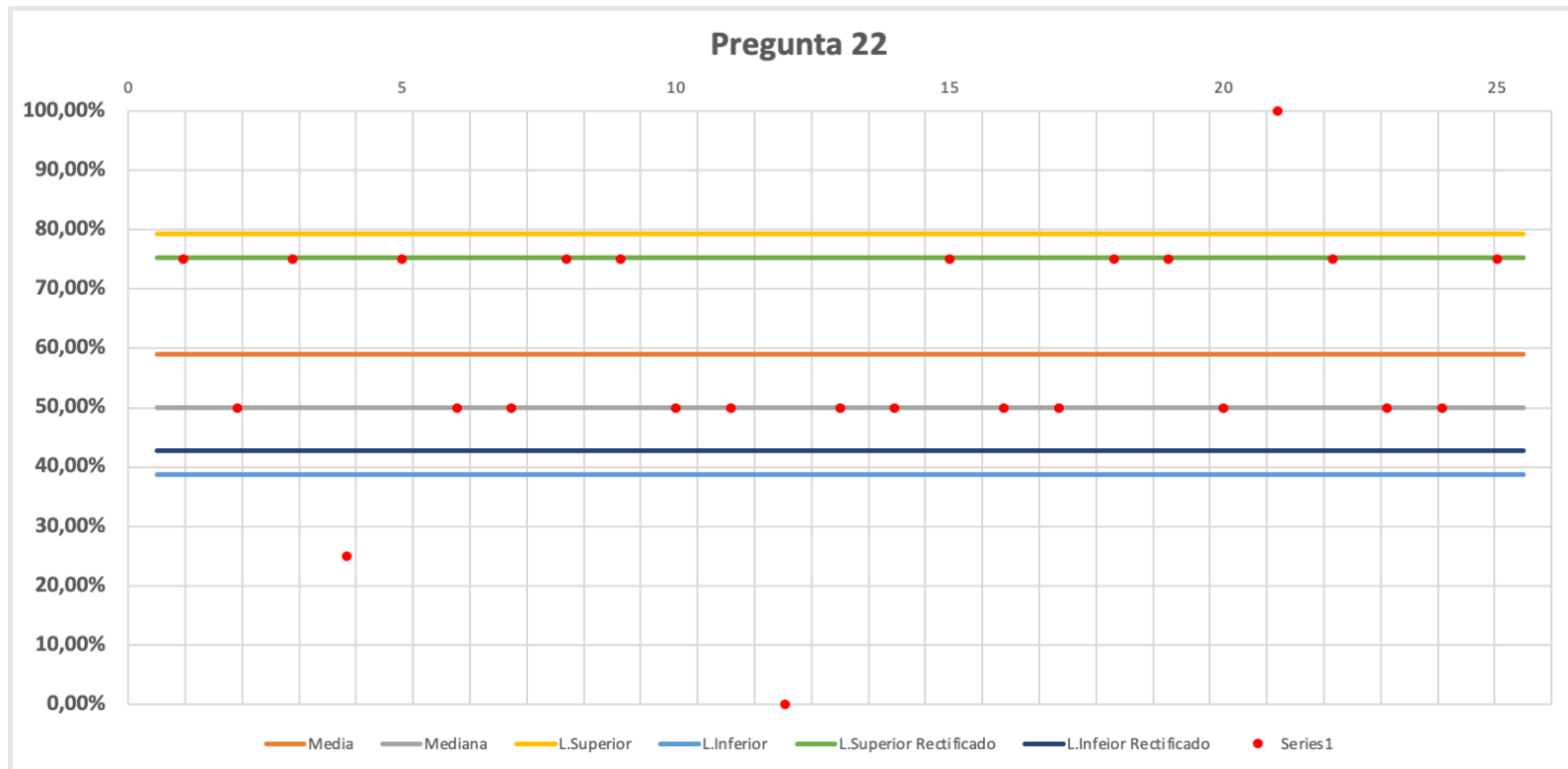
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	34,37%
MEDIA	58,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	39,10%
DESVIACIÓN TÍPICA	23,63%	LÍMITE SUPERIOR	81,63%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	76,90%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:2			

**Pregunta 21:** ¿Qué tan de acuerdo está con la siguiente afirmación? Declaración: Hacia 2040, el hidrógeno azul será un trampolín necesario hacia el hidrógeno verde.



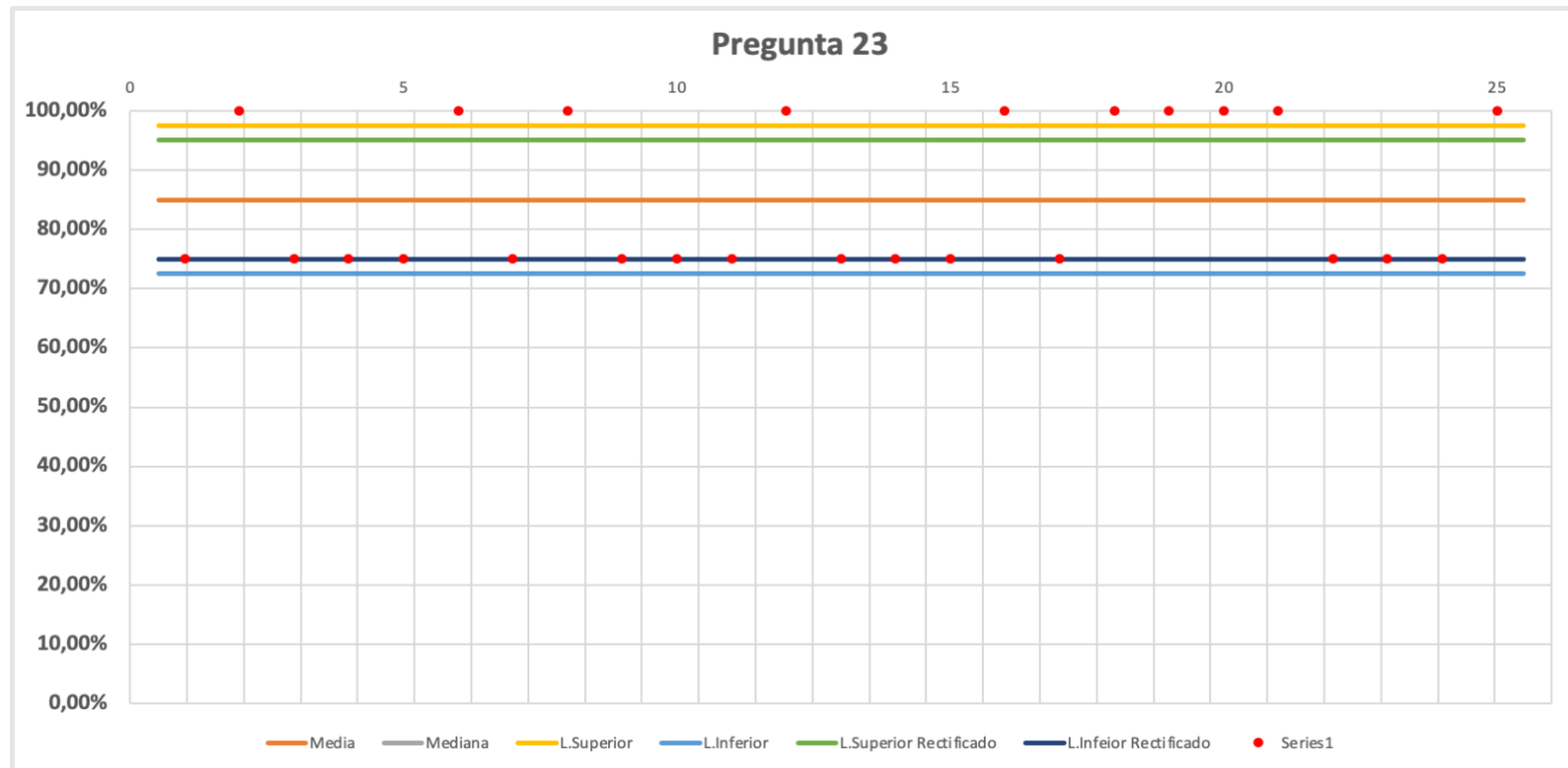
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	-40,82%
MEDIA	-6,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	-33,86%
DESVIACIÓN TÍPICA	34,82%	LÍMITE SUPERIOR	28,82%
MEDIANA	0,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	21,86%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:15			

**Pregunta 22:** ¿Cuál es la probabilidad de que España haya desarrollado una infraestructura de almacenamiento y distribución de hidrógeno verde a gran escala para 2040?



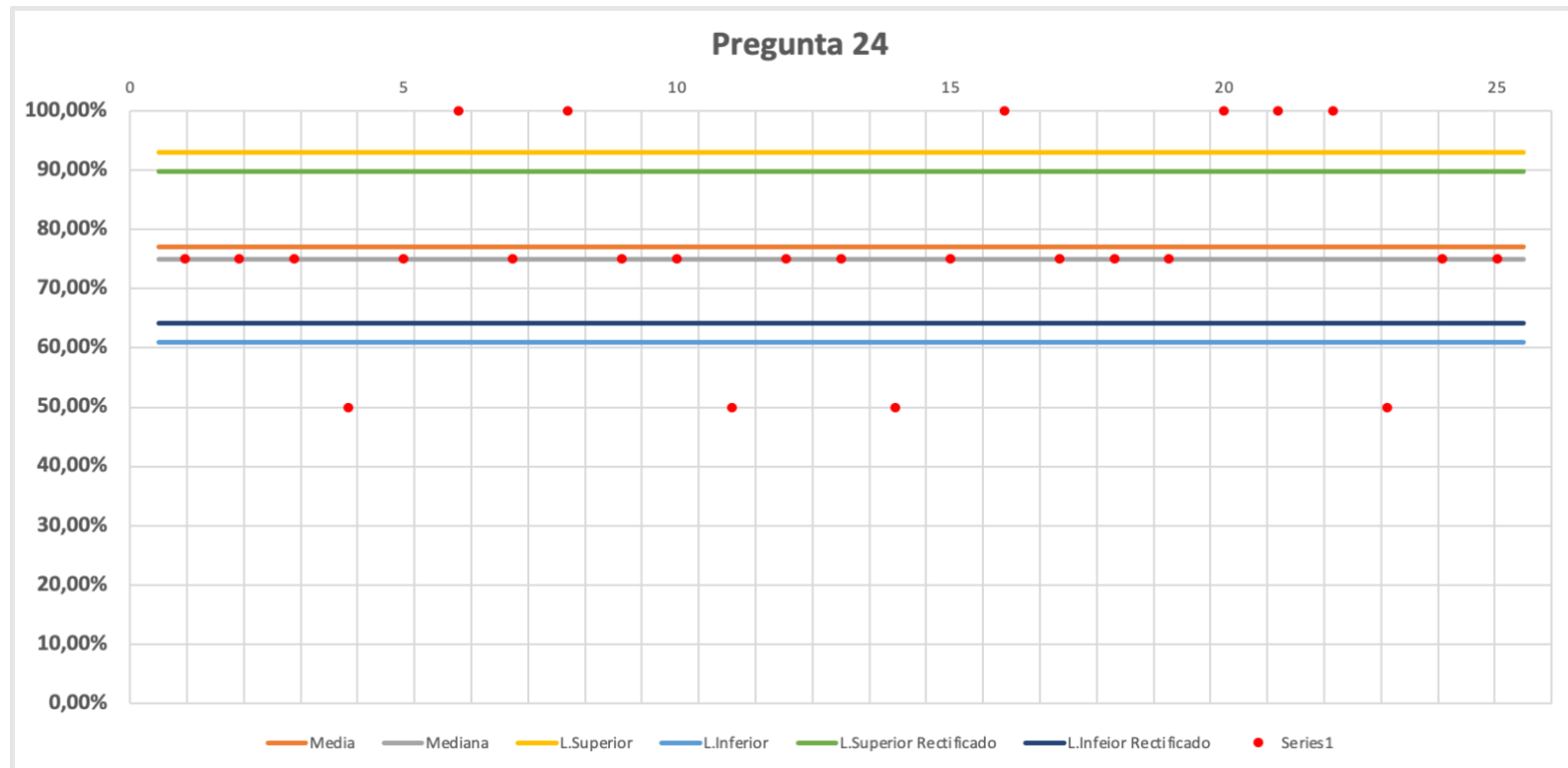
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	38,74%
MEDIA	59,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	42,79%
DESVIACIÓN TÍPICA	20,26%	LÍMITE SUPERIOR	79,26%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	75,21%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:3			

**Pregunta 23:** ¿Qué tan probable es que España haya establecido programas de capacitación y educación para fomentar el desarrollo de habilidades relacionadas con el hidrógeno verde para 2040?



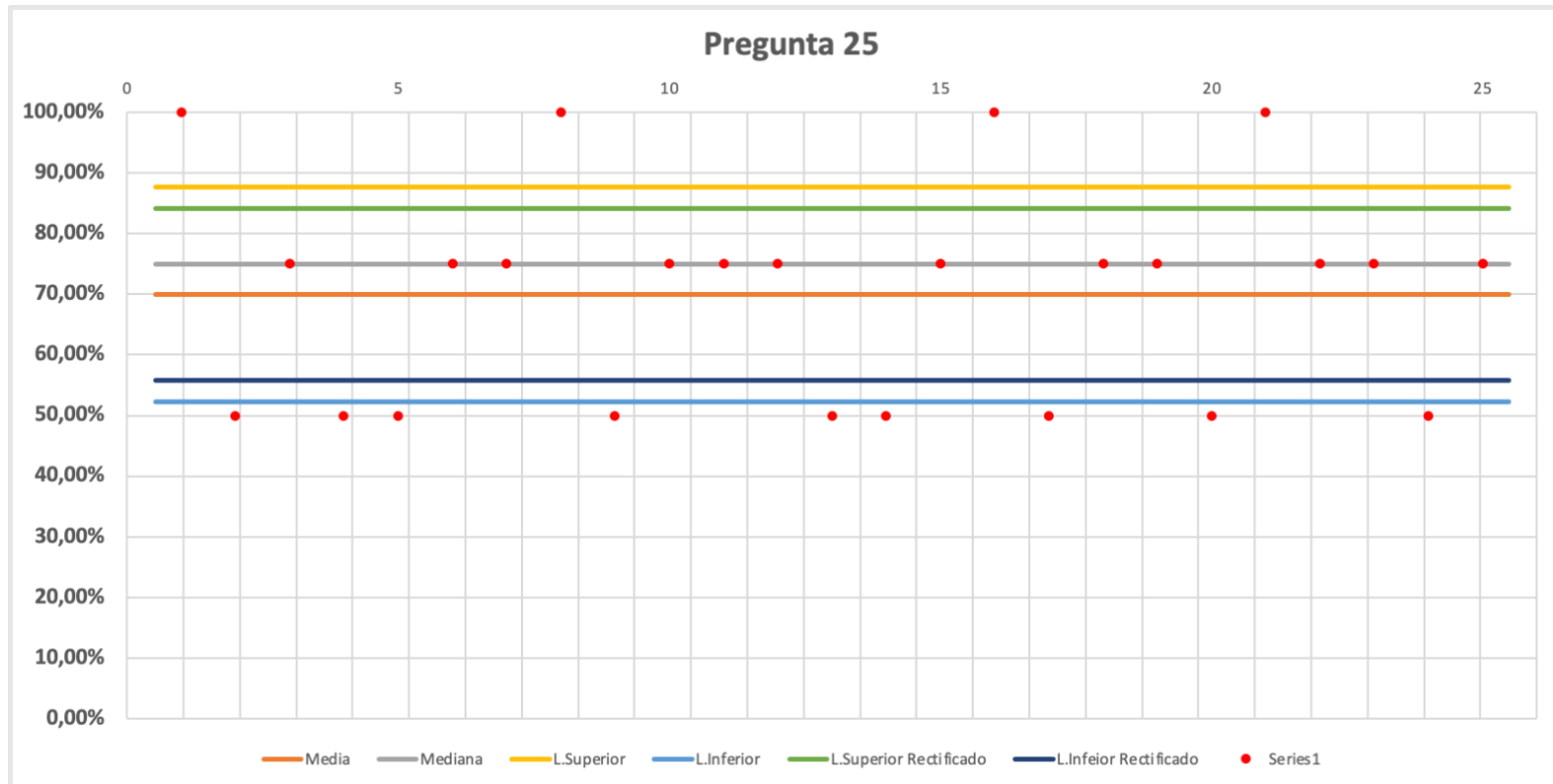
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	72,50%
MEDIA	85,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	75,00%
DESVIACIÓN TÍPICA	12,50%	LÍMITE SUPERIOR	97,50%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	95,00%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:10			

**Pregunta 24:** ¿Qué probabilidad hay de que España logre alcanzar los objetivos establecidos en su hoja de ruta para el año 2040, teniendo en cuenta las proyecciones actuales?



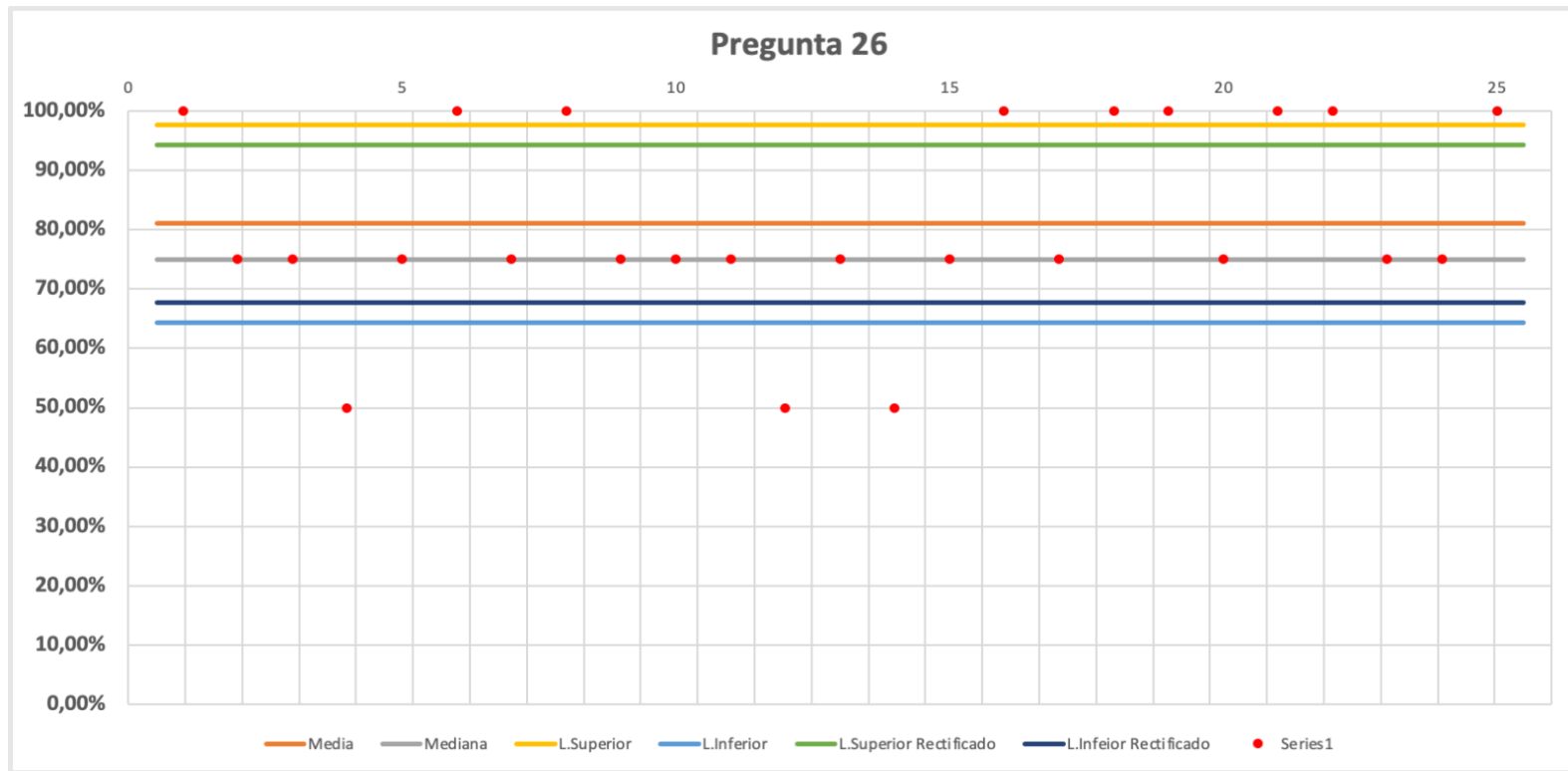
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	60,99%
MEDIA	77,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	64,19%
DESVIACIÓN TÍPICA	16,01%	LÍMITE SUPERIOR	93,01%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	89,81%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:10			

**Pregunta 25:** ¿Qué tan probable es que, en España, para el horizonte 2040, el costo del hidrógeno verde sea competitivo con otras fuentes de energía?



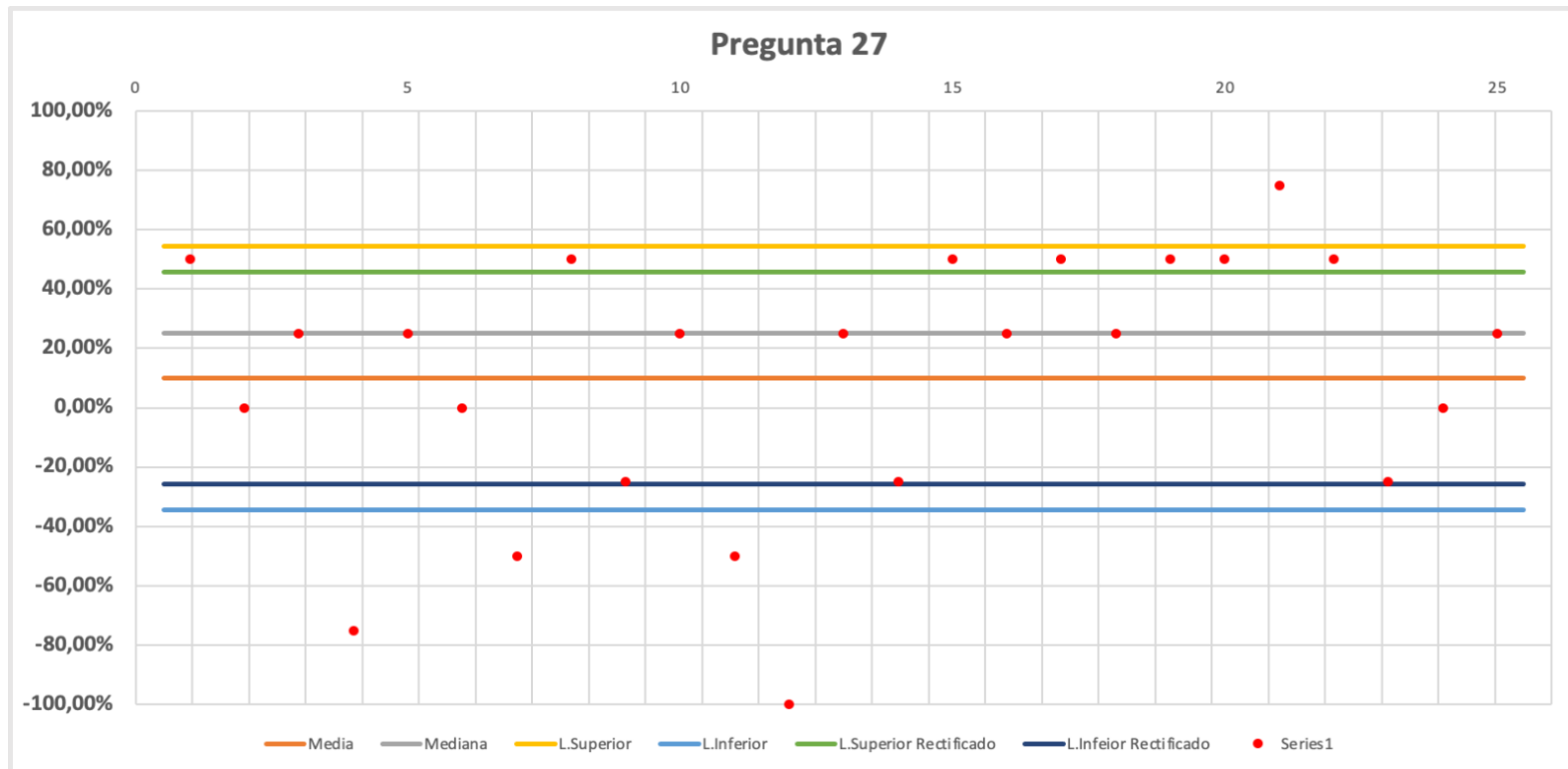
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	52,32%
MEDIA	70,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	55,86%
DESVIACIÓN TÍPICA	17,68%	LÍMITE SUPERIOR	87,68%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	84,14%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:13			

**Pregunta 26:** ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 los sectores industriales en España, que necesitan grandes cantidades de hidrógeno y son difíciles de descarbonizar, utilicen mayoritariamente hidrógeno verde? (sectores industriales como el refino de petróleo, la industria del hierro y el acero o la industria química)



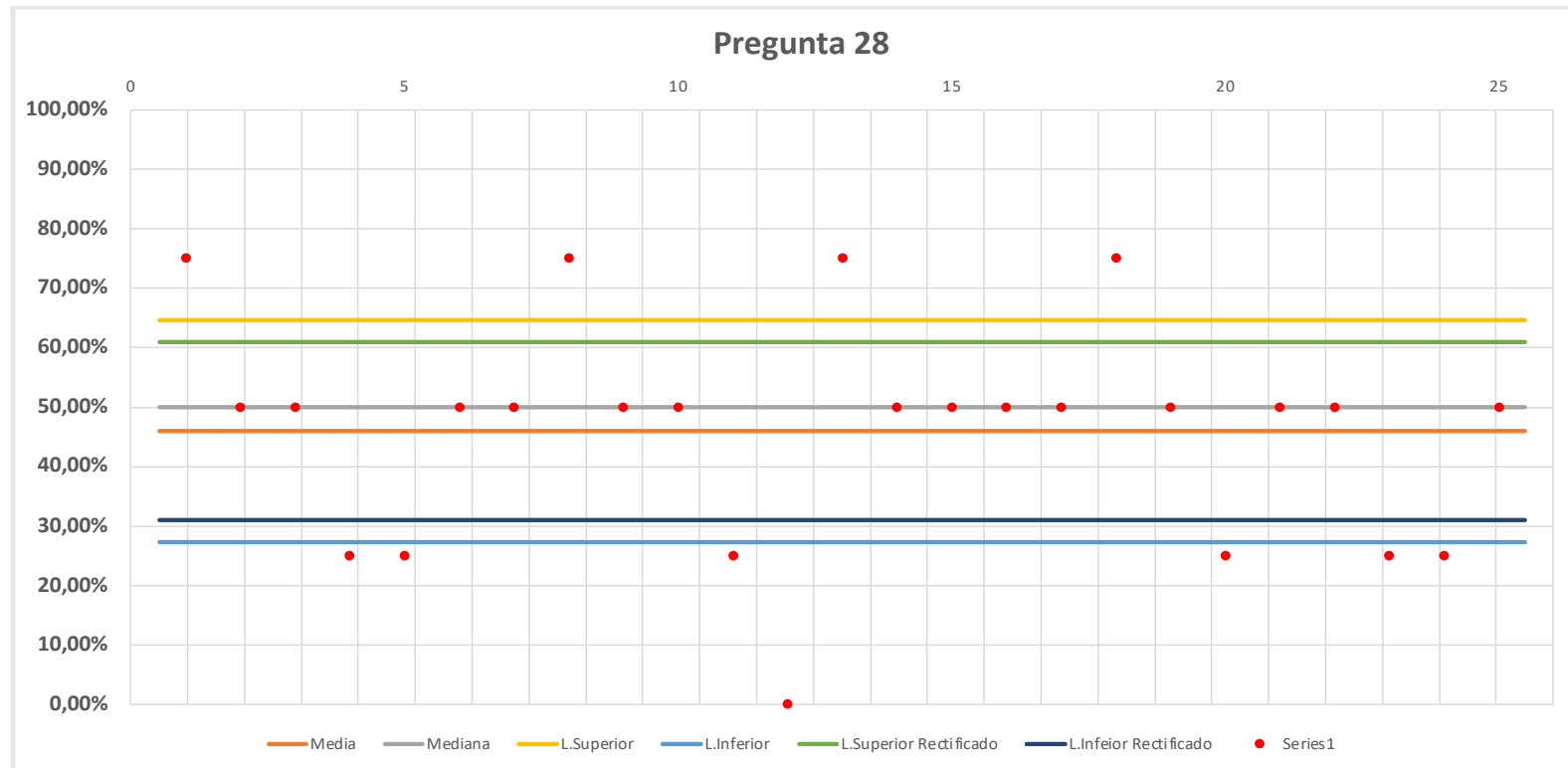
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	64,42%
MEDIA	81,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	67,73%
DESVIACIÓN TÍPICA	16,58%	LÍMITE SUPERIOR	97,58%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	94,27%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:12			

**Pregunta 27:** ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, los vehículos propulsados por hidrógeno con pila de combustible sean competitivos con los vehículos eléctricos (vehículos ligeros), considerando factores como la pérdida de conversión del hidrógeno verde, la caída del precio de las baterías y la escasez de hidrogeneras?



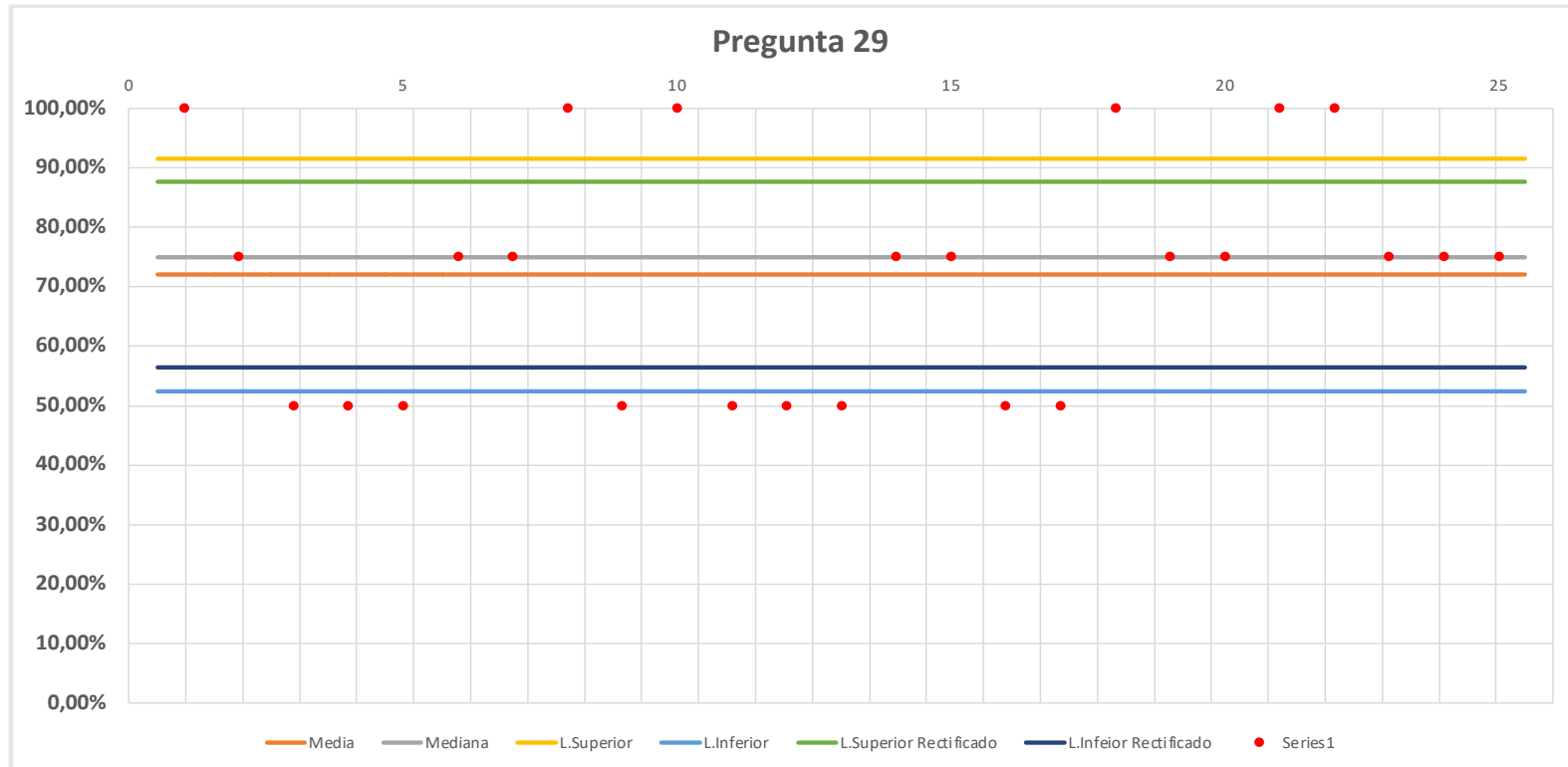
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	-34,49%
MEDIA	10,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	-25,59%
DESVIACIÓN TÍPICA	44,49%	LÍMITE SUPERIOR	54,49%
MEDIANA	25,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	45,59%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:12			

**Pregunta 28:** ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para promover el uso del hidrógeno en el transporte terrestre (vehículos pesados), incluyendo la colaboración internacional, incentivos a la compra de vehículos, desarrollo de infraestructura y apoyo a la industria automotriz?



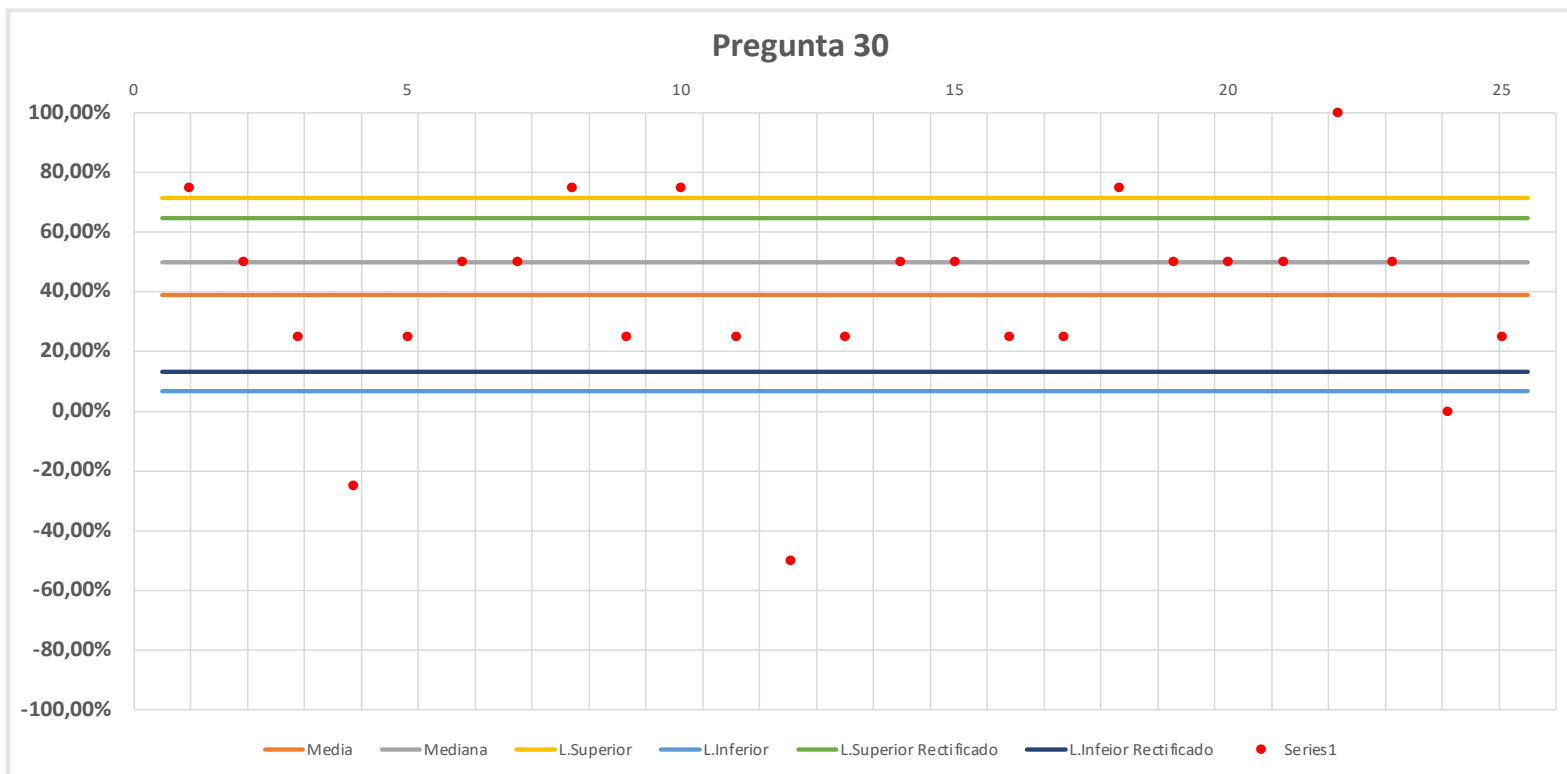
RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	27,35%
MEDIA	46,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	31,08%
DESVIACIÓN TÍPICA	18,65%	LÍMITE SUPERIOR	64,65%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	60,92%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:11			

**Pregunta 29:** ¿Qué probabilidad asignarías, a que para el año 2040 en España se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para promover el uso del hidrógeno en el transporte marítimo, incluyendo la creación de reglas claras de homologación, el desarrollo de infraestructura portuaria de repostaje de hidrógeno, la promoción de tecnologías cero emisiones en los puertos y la asignación de ayudas para la construcción de buques impulsados por hidrógeno?



RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	52,47%
MEDIA	72,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	56,38%
DESVIACIÓN TÍPICA	19,53%	LÍMITE SUPERIOR	91,53%
MEDIANA	75,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	87,62%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:15			

**Pregunta 30:** ¿Qué probabilidad asignarías, a que para el año 2040 en España se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para fomentar el uso de hidrógeno renovable y biocombustibles de nueva generación en el transporte aéreo, incluyendo el desarrollo de plantas de producción de queroseno sintético, el análisis de modificaciones necesarias en las aeronaves y el establecimiento de requisitos ambientales en los aeropuertos?



RESUMEN ESTADÍSTICO			
NÚMERO DE RESPUESTAS	25	LÍMITE INFERIOR	6,66%
MEDIA	39,00%	LÍMITE INF. RECTIFICADO	13,13%
DESVIACIÓN TÍPICA	32,34%	LÍMITE SUPERIOR	71,34%
MEDIANA	50,00%	LÍMITE SUP. RECTIFICADO	64,87%
NÚMERO DE RESPUESTAS FUERA DE LOS LÍMITES:8			

## 6. ANÁLISIS FINAL DE LAS RESPUESTAS

1. ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, el papel del hidrógeno verde sea mínimo, limitándose principalmente a la validación de tecnología y proyectos de investigación y desarrollo, a pesar de la disponibilidad de energías renovables y el potencial de reducción de gases de efecto invernadero?
  - **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del -81.00%, con una desviación típica de 18.09%.
  - **Segunda Ronda:** La probabilidad media fue del -83.00%, con una desviación típica de 15.68%.
  - **Análisis:** La media ha disminuido ligeramente, lo que sugiere que los expertos tienen una percepción aún más negativa sobre la probabilidad de que el papel del hidrógeno verde sea mínimo en 2040. La desviación típica también ha disminuido, indicando que las opiniones están más concentradas, logrando un mayor consenso de los expertos. Esta perspectiva positiva sobre el papel que desempeñará el hidrógeno verde en el futuro energético en España por parte de los expertos, está alineada con las estrategias europeas y nacionales de adoptar el hidrógeno verde para cumplir con los objetivos climáticos y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Algunos expertos más críticos, con una percepción menos negativa, sugieren que el hidrógeno verde podría tener un papel limitado debido a las pérdidas en su conversión y al elevado costo de producción. Este estudio apoya claramente la idea de que el hidrógeno verde desempeñará un papel importante en la transición energética.
2. ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, el hidrógeno verde gane una relevancia creciente en las industrias difíciles de descarbonizar debido a sus propiedades físicas, su amplia variedad de aplicaciones y su complementariedad con la electricidad baja en carbono?
  - **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 82.00%, con una desviación típica de 11.46%.

- **Segunda Ronda:** La probabilidad media se mantuvo en el 82.00%, con una desviación típica de 11.46%.
  - **Análisis:** No hubo cambios en la media ni en la desviación típica, lo que indica que los expertos ya tenían un alto consenso sobre la probabilidad de que el hidrógeno verde gane relevancia en las industrias difíciles de descarbonizar, complementado la electrificación de la sociedad. Su papel será principalmente facilitar la descarbonización de los sectores difíciles de electrificar, como el transporte pesado, marítimo, industria química... El hidrógeno verde será utilizado inicialmente como materia prima y donde la densidad volumétrica energética no es un problema, y a partir de aquí se irá desarrollando como vector energético.
3. ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se observe una transformación donde el hidrógeno verde satisfaga cada vez más la demanda, incluso en áreas que históricamente han sido difíciles de abastecer con hidrógeno?
- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 45.00%, con una desviación típica de 36.80%.
  - **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 53.00%, con una desviación típica de 24.28%.
  - **Análisis:** La media ha aumentado, lo que indica que los expertos ven una mayor probabilidad de que el hidrógeno verde satisfaga más demanda en 2040. La desviación típica ha disminuido significativamente, mostrando un mayor consenso entre los expertos en la segunda ronda, en cambio esta es moderada, por tanto, existen diferencias de opinión que son significativas. Muchos expertos sostienen que el hidrógeno verde jugará un papel significativo en la transición energética más allá de simplemente descarbonizar sectores difíciles de abatir.
4. ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se haya logrado una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero gracias al uso generalizado de hidrógeno verde?
- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 60.00%, con una desviación típica de 27.95%.

- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 64.00%, con una desviación típica de 17.80%.
  - **Análisis:** La media ha aumentado y la desviación típica ha disminuido, lo que indica un mayor consenso sobre la probabilidad de lograr una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero gracias al uso del hidrógeno verde principalmente en los procesos difícilmente descarbonizables para alcanzar los objetivos de ser neutros en emisiones para el año 2050.
5. ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 en España se haya desarrollado ampliamente la cadena de valor de la economía del hidrógeno, consolidando al país como referente tecnológico?
- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 73.00%, con una desviación típica de 18.98%.
  - **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 77.00%, con una desviación típica de 14.29%.
  - **Análisis:** La media ha aumentado y la desviación típica ha disminuido, indicando un mayor consenso sobre el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno y la consolidación de España como referente tecnológico. Esto incluye fabricación de electrolizadores, pilas de combustible, equipos de transporte, hidrogeneras... El impulso tanto a nivel europeo como a nivel nacional para lograr la neutralidad climática para el año 2050 implica una electrificación renovable tanto directa e indirecta. Por tanto, aquí es donde entra en juego el hidrógeno verde, haciéndolo clave para alcanzar estos objetivos y situando a España como uno de los países líderes en el desarrollo de tecnología de hidrógeno verde de toda su cadena de valor.
6. ¿Qué tan probable es que, para el año 2040 en España, se hayan desarrollado tecnologías de almacenamiento de energía basadas en hidrógeno verde a gran escala, demostrando ser una solución eficaz para la integración de energías renovables intermitentes en el sistema energético español?
- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 67.00%, con una desviación típica de 18.71%.

- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 74.00%, con una desviación típica de 11.37%.
  - **Análisis:** La media ha aumentado significativamente y la desviación típica ha disminuido considerablemente, indicando un mayor consenso sobre el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía basadas en hidrógeno verde. Tanto la producción de energía renovable como la demanda de energía presentan variaciones estacionales, lo que crea la necesidad de almacenamiento de energía a largo plazo. El hidrógeno puede servir como medio de almacenamiento a largo plazo, con capacidad de almacenar energía durante varios meses.
7. ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, se haya reducido significativamente la dependencia de importaciones energéticas fósiles mediante la producción autóctona de hidrógeno renovable?
- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 58.00%, con una desviación típica de 17.26%.
  - **Segunda Ronda:** La probabilidad media fue del 59.00%, con una desviación típica de 12.25%.
  - **Análisis:** La media se ha mantenido casi igual, pero la desviación típica ha disminuido, mostrando un mayor consenso en la percepción de la reducción de la dependencia de importaciones fósiles. Este resultado refleja una tendencia hacia la autosuficiencia energética y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles importados.
8. ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040, España se convierta en uno de los principales productores y exportadores de hidrógeno verde en Europa?
- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 61.00%, con una desviación típica de 21.75%.
  - **Segunda Ronda:** La probabilidad media fue del 62.00%, con una desviación típica de 17.85%.
  - **Análisis:** La media y la desviación típica se han mantenido similares, con una leve disminución en la desviación típica, indicando una mejora en el consenso

sobre la probabilidad de que España se convierta en un productor y exportador líder de hidrógeno verde gracias a sus recursos naturales y posición geográfica.

9. ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, el hidrógeno verde juegue un papel significativo en la descarbonización de sistemas energéticos aislados, con un enfoque especial en territorios insulares?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 65.00%, con una desviación típica de 22.82%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 69.00%, con una desviación típica de 18.09%.
- **Análisis:** La media ha aumentado y la desviación típica ha disminuido, mostrando un mayor consenso sobre el papel del hidrógeno verde en la descarbonización de sistemas energéticos aislados, permitiendo almacenar energía eléctrica temporalmente y promover una movilidad más sostenible, dadas sus restricciones físicas y de acceso a energía.

10. ¿Qué probabilidad hay de que, para el año 2040 en España, se logre potenciar la investigación, desarrollo e innovación en el ámbito energético, fortaleciendo el liderazgo de las empresas e industrias españolas en tecnologías relacionadas con el hidrógeno renovable?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 74.00%, con una desviación típica de 18.37%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 78.00%, con una desviación típica de 13.15%.
- **Análisis:** La media ha aumentado y la desviación típica ha disminuido, indicando un mayor consenso sobre el fortalecimiento del liderazgo en I+D+I en tecnologías relacionadas con el hidrógeno renovable siendo un pilar de crecimiento económico sostenible. Esto se consigue con colaboraciones y alianzas publico privadas para impulsar la investigación y desarrollo del hidrógeno verde.

11. ¿Qué probabilidad existe de que, en España, para el año 2040, se genere una demanda significativa de hidrogeno verde que permita alcanzar un equilibrio

adecuado entre la oferta y la demanda, facilitando así la consolidación de un mercado del hidrógeno?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 69.00%, con una desviación típica de 18.09%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 72.00%, con una desviación típica de 16.65%.
- **Análisis:** Hubo un ligero aumento en la media y una leve disminución en la desviación típica, lo que muestra una mejora en el consenso. La desviación típica baja en ambas rondas indica que existe un alto grado de acuerdo entre los expertos sobre la probabilidad de generar una demanda significativa de hidrógeno verde. Para impulsar el sector de H2V se debe incentivar la demanda con algunas medidas como la implementación de políticas públicas que incentiven la compra de esta fuente de energía y el uso de vehículos a hidrógeno, como subvenciones directas o beneficios fiscales. Además, se deben incorporar vehículos a hidrógeno a las flotas públicas, como autobuses urbanos o taxis, para promover la tecnología. Actualmente el mercado de hidrógeno renovable no registra proyectos de gran envergadura debido a los altos costes nivelados de este tipo de proyectos, lo que genera que no sean rentables en comparación a los de otras alternativas. Por otro lado, la mayoría de los proyectos están destinados a la producción de hidrógeno verde a día de hoy y la mayoría son proyectos piloto.

12. ¿Cuál es la probabilidad de que, en España, para el año 2040, las autoridades locales, en colaboración con la industria y las empresas del sector energético, hayan realizado una gran cantidad de proyectos de demostración de hidrógeno para promover el crecimiento de las comunidades relacionadas con esta tecnología?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 66.00%, con una desviación típica de 22.68%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 71.00%, con una desviación típica de 17.20%.

- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica indican un mayor consenso sobre la realización de proyectos de demostración de hidrógeno. La disminución de la desviación típica refuerza la confianza en la opinión mayoritaria de los expertos. El hidrógeno involucra una gran cantidad de tecnologías. La idea es utilizarlas y ubicarlas simultáneamente en lo que se conoce como "hubs" o centros de hidrógeno. Al observar un hub de hidrógeno y la variedad de tecnologías involucradas, surge inmediatamente la percepción de una oportunidad de negocio, así como la posibilidad de reactivación económica y creación de empleo asociada.

13. ¿Cuál es la probabilidad de que el hidrógeno verde haya alcanzado un alto nivel de aceptación pública y apoyo para 2040 en España?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 74.00%, con una desviación típica de 18.37%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 78.00%, con una desviación típica de 15.00%.
- **Análisis:** La media ha aumentado y la desviación típica ha disminuido, lo que indica un mayor consenso sobre la aceptación pública del hidrógeno verde. Los expertos parecen estar más de acuerdo en que el hidrógeno verde tendrá un alto nivel de aceptación pública para 2040. Los planes estratégicos, la regulación y la reducción de costos son cruciales para introducir el hidrógeno como combustible de bajas emisiones, pero su aceptación depende del consumidor. Actualmente, es poco conocido y asociado negativamente con la industria armamentística y accidentes históricos. Para mejorar la percepción y aceptación, es vital informar sobre sus beneficios, como la autonomía y su efectividad ambiental, y lograr un consenso público-privado sobre su importancia para la descarbonización.

14. ¿Qué tan probable es que España pueda atraer inversores a su economía de hidrógeno verde para el año 2040, considerando la necesidad de una hoja de ruta clara, garantías sólidas para las inversiones y una planificación adecuada para cumplir con los objetivos energéticos a largo plazo?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 76.00%, con una desviación típica de 15.28%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media fue del 75.00%, con una desviación típica de 12.50%.
- **Análisis:** La media se mantuvo casi igual, mientras que la desviación típica disminuyó, mostrando un alto consenso sobre la probabilidad de atraer inversores. Los expertos están de acuerdo en que España tiene un alto potencial para atraer inversiones en el hidrógeno verde. Para alcanzar los objetivos de hidrógeno verde, se necesitan inversiones masivas hasta 2050. Estas inversiones podrían superar varias decenas de miles de millones de euros, requiriendo una alta capacidad de inversión anual con garantías de estabilidad y seguridad en la ejecución del plan. Sin una hoja de ruta bien definida, es difícil atraer inversión pública y privada, y sin una planificación adecuada, cumplir los objetivos para 2050, y posiblemente incluso para 2030, será muy complicado.

15. ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 en España se realice una adaptación efectiva de las infraestructuras gasistas para el almacenamiento y transporte de hidrógeno y gases sintéticos?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 68.00%, con una desviación típica de 24.49%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 72.00%, con una desviación típica de 16.65%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la significativa disminución en la desviación típica indican un mayor consenso sobre la adaptación de infraestructuras gasistas. Los expertos ven con mayor acuerdo la posibilidad de una adaptación efectiva para el almacenamiento y transporte de hidrógeno. La integración del hidrógeno verde será gradual y coexistirá con otras tecnologías en diversos sectores. En el sistema de gas de España, actualmente se permite la inyección de hasta un 5% de hidrógeno en los gasoductos. Para porcentajes mayores, se necesitarían modificaciones en la red de gas natural, nuevos límites técnicos y de seguridad, y ajustes en los equipos de los consumidores. Si aumentar la concentración de hidrógeno no

es viable técnica o económicamente, se podrían crear hidroductos exclusivos para hidrógeno.

16. ¿Qué probabilidad asignarías a que para el año 2040 en España se implementen regulaciones específicas y normativas técnicas que impulsen el despliegue de tecnologías del hidrógeno, abordando aspectos de seguridad y condiciones de uso?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 77.00%, con una desviación típica de 17.56%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 79.00%, con una desviación típica de 13.84%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica muestran un mayor consenso sobre la implementación de regulaciones específicas. Los expertos están más de acuerdo en la necesidad de normativas técnicas para impulsar el despliegue de tecnologías del hidrógeno. En España, la falta de normativas específicas para regular tecnologías relacionadas con el hidrógeno crea incertidumbre y dificulta su desarrollo. Las regulaciones actuales son generales y no están adaptadas a las necesidades únicas de estas tecnologías emergentes, lo que puede desincentivar la inversión y el despliegue tecnológico necesario para su implementación exitosa. Los expertos están de acuerdo que para 2040 se habrá establecido marcos regulatorios claros y específicos para impulsar el crecimiento y la adopción de estas tecnologías en el país.

17. ¿Qué tan probable es que en España se establezcan regulaciones tarifarias e impositivas favorables para el hidrógeno como producto energético, considerando su potencial para sustituir fuentes de energía convencionales, para el año 2040?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 66.00%, con una desviación típica de 17.50%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 72.00%, con una desviación típica de 13.15%.

- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica indican un mayor consenso sobre la implementación de regulaciones tarifarias e impositivas favorables. Los expertos coinciden que para 2040 se habrá establecido una regulación tarifaria e impuestos específicos para el hidrógeno, permitiendo su desarrollo y despliegue en el mercado energético del país. A diferencia de los combustibles fósiles importados, la producción local de hidrógeno no afectará la balanza de pagos exteriores, pero aún requerirá tarifas determinadas por las autoridades. El hidrógeno, similar a la gasolina, diésel o electricidad, estará sujeto a impuestos.

18. ¿Cuál es la probabilidad de que el hidrógeno verde haya contribuido de manera significativa a la creación de empleo en España para 2040?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 72.00%, con una desviación típica de 16.65%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 76.00%, con una desviación típica de 11.37%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica muestran un mayor consenso sobre la contribución del hidrógeno verde a la creación de empleo. Los expertos están más de acuerdo en que el hidrógeno verde tendrá un impacto significativo en el empleo, fomentando la creación de trabajo cualificado y permitiendo estimular la economía.

19. ¿Qué probabilidad hay de que España tenga acceso a una amplia oferta de energías renovables de bajo coste para el año 2040?"

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 76.00%, con una desviación típica de 19.74%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 82.00%, con una desviación típica de 11.46%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la notable disminución en la desviación típica indican un alto consenso sobre el acceso a energías renovables de bajo coste. Los expertos confían en que España tendrá acceso a una amplia oferta de energías renovables para 2040. El acceso a una amplia oferta de energías renovables de bajo costo es el principal obstáculo determinado

geográficamente para la adopción del hidrógeno verde, definiendo a España como un área en la que la producción del hidrógeno verde será económicamente viable. Sin embargo, el hidrógeno también tiene que transportarse, lo que significa que el acceso a una infraestructura de almacenamiento y distribución también es fundamental.

20. ¿Cuál es la probabilidad de que el tamaño del mercado de hidrógeno verde en España para el año 2040 represente más del 20% del consumo total de energía final?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 52.00%, con una desviación típica de 31.39%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 58.00%, con una desviación típica de 23.63%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica muestran un mayor consenso sobre la probabilidad de que el hidrógeno verde represente más del 20% del consumo total de energía final. Sin embargo, la desviación típica moderada sugiere que aún hay diferencias de opinión significativas entre los expertos. Existe por tanto incertidumbre sobre el mercado del hidrógeno para 2040, pero las respuestas reflejan convicción de que el hidrógeno desempeñará un papel importante en la descarbonización de la sociedad, pudiendo acaparar un mercado mayor que los mercados actuales de la energía solar y eólica, debido a la transición de la energía verde.

21. ¿Qué tan de acuerdo está con la siguiente afirmación? Declaración: Hacia 2040, el hidrógeno azul será un trampolín necesario hacia el hidrógeno verde.

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 0.00%, con una desviación típica de 43.90%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media fue del -6.00%, con una desviación típica de 34.82%.
- **Análisis:** Aunque la media ha cambiado ligeramente y la desviación típica ha disminuido, la dispersión sigue siendo alta, lo que indica que no se ha logrado un consenso claro sobre esta afirmación. Las opiniones de los expertos varían significativamente. El hidrógeno azul podría ser utilizado como trampolín

necesario hacia el hidrógeno verde, permitiendo una reducción de los precios hasta que comience la descarbonización de la generación de energía. En este caso, el panel de expertos no está de acuerdo sobre esta cuestión ya que por un lado argumentan que hidrógeno azul acelera el desarrollo de la infraestructura de hidrógeno, pero por otro lado obstaculiza las inversiones en tecnología de hidrógeno verde creando un problema.

22. ¿Cuál es la probabilidad de que España haya desarrollado una infraestructura de almacenamiento y distribución de hidrógeno verde a gran escala para 2040?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 52.00%, con una desviación típica de 29.69%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 59.00%, con una desviación típica de 20.26%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica indican un mayor consenso sobre el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de hidrógeno verde. Sin embargo, la desviación típica moderada sugiere que aún hay diferencias de opinión. Como señala la IEA, los costes de distribución son vital para la economía del hidrógeno. Hoy en día la mayor parte del hidrógeno se transporta en camiones en forma gaseosa o líquida, pero es más probable que los gaseoductos sean la opción más rentable. El panel de expertos no estuvo del todo de acuerdo. Este desacuerdo se debe a las altas inversiones necesarias para crear una infraestructura de gaseoductos. Para que esta opción sea posible se necesita una demanda suficientemente grande, sostenida y localizada.

23. ¿Qué tan probable es que España haya establecido programas de capacitación y educación para fomentar el desarrollo de habilidades relacionadas con el hidrógeno verde para 2040?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 81.00%, con una desviación típica de 16.58%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 85.00%, con una desviación típica de 12.50%.

- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica muestran un mayor consenso sobre el establecimiento de programas de capacitación y educación. Los expertos confían en que estos programas estarán bien desarrollados para 2040. Dado que el mercado del hidrógeno verde está en una etapa inicial de desarrollo, es crucial implementar programas de formación tanto para expertos como para usuarios en tecnologías relacionadas con el hidrógeno. Esta capacitación es fundamental para asegurar un despliegue efectivo y sostenible del sector.

24. ¿Qué probabilidad hay de que España logre alcanzar los objetivos establecidos en su hoja de ruta para el año 2040, teniendo en cuenta las proyecciones actuales?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 76.00%, con una desviación típica de 16.89%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 77.00%, con una desviación típica de 16.01%.
- **Análisis:** Aunque la media ha aumentado ligeramente y la desviación típica ha disminuido, la mejora en el consenso es mínima. Los expertos tienen una percepción alta y consistente de que España logrará sus objetivos de hidrógeno para 2040.

25. ¿Qué tan probable es que, en España, para el horizonte 2040, el costo del hidrógeno verde sea competitivo con otras fuentes de energía?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 66.00%, con una desviación típica de 22.68%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 70.00%, con una desviación típica de 17.68%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica indican un mayor consenso sobre la competitividad del costo del hidrógeno verde. Los expertos están más de acuerdo en que el hidrógeno verde será competitivo con otras fuentes de energía para 2040. Esto se deberá principalmente por el acceso a precios bajos de la energía renovable, aumento

en la eficiencia de los electrolizadores, desarrollo de una infraestructura y despliegue de una economía de escala.

26. ¿Cuál es la probabilidad de que para el año 2040 los sectores industriales en España, que necesitan grandes cantidades de hidrógeno y son difíciles de descarbonizar, utilicen mayoritariamente hidrógeno verde? (sectores industriales como el refinado de petróleo, la industria del hierro y el acero o la industria química)

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 78.00%, con una desviación típica de 20.82%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 81.00%, con una desviación típica de 16.58%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica muestran un mayor consenso sobre el uso del hidrógeno verde en sectores industriales difíciles de descarbonizar. Los expertos ven con más claridad la adopción del hidrógeno verde en estos sectores. Saber que sectores impulsarán el crecimiento de la demanda es importante tanto para los inversores como para los reguladores. Estas son áreas que hay que buscar ya que tienden a hacer bajar los precios para que otras áreas de costos más altos puedan aprovechar las tecnologías y se puedan lograr caídas de precios. Estas áreas necesitan volúmenes significativos de hidrógeno verde y son difíciles de descarbonizar de cualquier otra manera, por tanto, impulsarán el crecimiento de la demanda.

27. ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, los vehículos propulsados por hidrógeno con pila de combustible sean competitivos con los vehículos eléctricos (vehículos ligeros), considerando factores como la pérdida de conversión del hidrógeno verde, la caída del precio de las baterías y la escasez de hidrogeneras?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 16.00%, con una desviación típica de 47.81%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media disminuyó al 10.00%, con una desviación típica de 44.49%.

- **Análisis:** Aunque la media ha disminuido ligeramente y la desviación típica también ha disminuido, la dispersión sigue siendo muy alta, indicando que no se ha logrado un consenso sobre esta afirmación. Las opiniones de los expertos varían significativamente. Una parte de los expertos espera que los vehículos eléctricos de pila de combustible sean competitivos con los vehículos eléctricos ligeros para 2040, ya sea por los incentivos similares a los de los vehículos eléctricos o ya sea porque el largo alcance que aporta la pila de combustible. Sin embargo, hay otra parte que considera que los FCEVs no podrá superar a los vehículos eléctricos en 2040 por falta de infraestructura y economía de escala o por los avances de las nuevas baterías, eficiencias...

28. ¿Cuál es la probabilidad de que, para el año 2040 en España, se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para promover el uso del hidrógeno en el transporte terrestre (vehículos pesados), incluyendo la colaboración internacional, incentivos a la compra de vehículos, desarrollo de infraestructura y apoyo a la industria automotriz?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 41.00%, con una desviación típica de 24.87%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 46.00%, con una desviación típica de 18.65%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica indican un mayor consenso. Los expertos tienen una visión más alineada en cuanto a la implementación efectiva de las medidas propuestas para promover el uso de hidrogeno verde en el transporte pesado mediante la homologación de los vehículos pesados y los incentivos de compra.

29. ¿Qué probabilidad asignarías, a que para el año 2040 en España se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para promover el uso del hidrógeno en el transporte marítimo, incluyendo la creación de reglas claras de homologación, el desarrollo de infraestructura portuaria de repostaje de hidrógeno, la promoción de tecnologías cero emisiones en los puertos y la asignación de ayudas para la construcción de buques impulsados por hidrógeno?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 65.00%, con una desviación típica de 31.46%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media aumentó al 72.00%, con una desviación típica de 19.53%.
- **Análisis:** El aumento en la media y la disminución en la desviación típica muestran un mayor consenso sobre la implementación de medidas en el transporte marítimo. Los expertos están más de acuerdo en que estas medidas se implementarán efectivamente para 2040. El transporte marítimo es un sector difícil de descarbonizar, por tanto, aquí el hidrógeno verde juega un papel muy importante. Por otro lado, de los cuatro medios de transporte que tenemos para el hidrógeno el transporte marítimo será el mayor impulsor debido a la falta de alternativas con motores extremadamente grandes.

30. ¿Qué probabilidad asignarías, a que para el año 2040 en España se hayan implementado de manera efectiva las medidas propuestas para fomentar el uso de hidrógeno renovable y biocombustibles de nueva generación en el transporte aéreo, incluyendo el desarrollo de plantas de producción de queroseno sintético, el análisis de modificaciones necesarias en las aeronaves y el establecimiento de requisitos ambientales en los aeropuertos?

- **Primera Ronda:** La probabilidad media fue del 43.00%, con una desviación típica de 34.25%.
- **Segunda Ronda:** La probabilidad media disminuyó al 39.00%, con una desviación típica de 32.34%.
- **Análisis:** La media ha disminuido ligeramente y la desviación típica también ha disminuido, pero la dispersión sigue siendo alta, indicando que no se ha logrado un consenso claro sobre esta afirmación. Las opiniones de los expertos varían significativamente. Los expertos coinciden en que el uso del hidrógeno verde en aviones llevará más tiempo.

## 7. CONCLUSIÓN

El hidrógeno verde es visto como un componente esencial para la descarbonización y la transición energética en España. A través del método Delphi, se ha evaluado la percepción de expertos sobre diversos aspectos del desarrollo del hidrógeno verde hacia 2040. El análisis ha revelado una tendencia optimista y un creciente consenso entre los expertos en la mayoría de los puntos que se han tratado.

A pesar de los desafíos como altos costos de producción y pérdidas en la conversión, los expertos no ven probable que el hidrógeno verde tenga un papel mínimo, destacando su potencial en industrias difíciles de descarbonizar. Hay consenso en que el hidrógeno verde complementará la electrificación baja en carbono, y se espera que satisfaga una parte significativa de la demanda energética para 2040, aunque en áreas tradicionalmente difíciles de abastecer no es tan claro. Los expertos también coinciden en el potencial del hidrógeno verde para contribuir significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero principalmente en aquellos sectores que son difíciles de descarbonizar mediante una electrificación directa.

Para el año 2040, existe una creciente confianza entre expertos en que España llevará a cabo numerosos proyectos de demostración de hidrógeno, en colaboración con autoridades locales, la industria y empresas del sector energético. El consenso mayoritario sugiere que España se está posicionando para implementar infraestructuras y tecnologías relacionadas con el hidrógeno verde, potencialmente organizadas en forma de "hubs" o centros de hidrógeno. Estos centros no solo representan una oportunidad significativa para el desarrollo económico y la creación de empleo, sino que también servirán como catalizadores para la adopción masiva de tecnologías de hidrógeno en diversas comunidades.

España tiene un gran potencial para atraer inversores a su economía de hidrógeno verde para el año 2040 según los expertos, siempre que se establezca una hoja de ruta clara y se ofrezcan garantías sólidas para las inversiones. Se necesitarán inversiones masivas hasta 2050, potencialmente de varias decenas de miles de millones de euros, para asegurar la estabilidad y seguridad necesarias.

Es crucial implementar regulaciones específicas y normativas técnicas que impulsen el despliegue de tecnologías del hidrógeno. La falta de regulaciones concretas crea incertidumbre y dificulta el desarrollo tecnológico, desincentivando la inversión necesaria. Se espera que para 2040 se hayan establecido marcos regulatorios claros que impulsen el crecimiento y la adopción de estas tecnologías en España. La implementación de tarifas e impuestos favorables y normativas técnicas es vista como esencial para impulsar la adopción de esta tecnología.

Los expertos confían en que España tendrá acceso a una amplia oferta de energías renovables de bajo coste para el año 2040. Esto es fundamental, ya que el acceso a energías renovables económicas es el principal obstáculo geográfico para la adopción del hidrógeno verde, definiendo a España como un área viable para su producción. Sin embargo, es igualmente importante contar con una infraestructura adecuada de almacenamiento y distribución para el transporte del hidrógeno.

En términos de infraestructura, los expertos son más optimistas respecto a la adaptación de las infraestructuras gasistas existentes para el almacenamiento y transporte de hidrógeno, en lugar de desarrollar una infraestructura de almacenamiento y distribución específica para el hidrógeno verde a gran escala para 2040. Actualmente, las infraestructuras gasistas permiten la inyección de hasta un 5% de hidrógeno en los gasoductos, pero para porcentajes mayores serían necesarias modificaciones en la red de gas natural y ajustes en los equipos de los consumidores. Si aumentar la concentración de hidrógeno en la red de gas natural no es viable técnicamente o económicamente, se podría optar por la creación de hidrodutos exclusivos para el hidrógeno. Sin embargo, esto requeriría inversiones significativas para desarrollar una infraestructura de hidrodutos. Para que esta opción sea viable, se necesitaría una demanda suficientemente grande, sostenida y localizada. La viabilidad económica del hidrógeno verde dependerá en gran medida de los costos de distribución y de la capacidad para desarrollar una infraestructura adecuada que pueda manejar volúmenes significativos de este recurso energético.

La innovación y el desarrollo tecnológico son reconocidos como motores clave para el éxito del hidrógeno verde. Los expertos coinciden en que es fundamental fortalecer el liderazgo en investigación y desarrollo (I+D) para avanzar en las

tecnologías del hidrógeno. Esto incluye no solo la producción de hidrógeno verde, sino también su almacenamiento, transporte y aplicaciones en diferentes sectores.

Además, aunque hay una expectativa clara sobre el uso del hidrógeno en el transporte marítimo, persisten incertidumbres significativas sobre su viabilidad en el transporte aéreo. Esto refleja la necesidad de continuar desarrollando la infraestructura y las tecnologías necesarias para estos sectores.

En términos de educación y capacitación, hay un consenso significativo sobre la importancia de establecer programas que fomenten el desarrollo de habilidades relacionadas con el hidrógeno verde. Estos programas son esenciales para preparar a la fuerza laboral y asegurar que las empresas e industrias españolas puedan liderar en tecnologías relacionadas con el hidrógeno renovable.

Sin embargo, todavía existen discrepancias significativas en ciertas áreas. La competitividad del hidrógeno en el transporte ligero sigue siendo un desafío, con dudas persistentes sobre los costos y la infraestructura necesaria en comparación con los vehículos eléctricos de batería. También persisten incertidumbres y discrepancias en áreas como el papel del hidrógeno azul como trampolín hacia el hidrógeno verde, ya que una parte de los expertos argumentan que hidrógeno azul acelera el desarrollo de la infraestructura de hidrógeno y por consiguiente supondría una reducción de los precios, pero por otro lado obstaculizaría las inversiones en tecnología de hidrógeno verde creando un problema.

En resumen, los expertos son optimistas sobre el papel fundamental que el hidrógeno verde puede desempeñar en la transición energética de España. No obstante, el éxito de esta transición dependerá de la colaboración continua entre el gobierno, la industria y la sociedad, así como del desarrollo de políticas y regulaciones que faciliten su adopción y superen los desafíos existentes. La combinación de un entorno regulatorio favorable, avances tecnológicos y una infraestructura robusta será clave para aprovechar las oportunidades emergentes y consolidar el hidrógeno verde como una solución viable y sostenible para el futuro energético de España.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Olano, M.R., Dévora-Isasi, J. & Mosqueda-Luna, M. (2022). Libro sobre el hidrógeno [PDF]. Fundación Naturgy.  
<https://www.energetica21.com/images/ckfinder/files/LIBRO%20HIDROGENO%20Fundaci%C3%B3n%20Naturgy.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Hoja de ruta del hidrógeno renovable [PDF].  
[https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno/hojarutahidrogenorenovable\\_tcm30-525000.PDF](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF)
- AH2 V Biobio. (s.f.). Hidrógeno verde. <https://www.ah2vbiobio.cl/hidrogeno-verde/>
- Statista. (s.f.). El hidrógeno verde. <https://es.statista.com/temas/9077/el-hidrogeno-verde/#topicOverview>
- International Energy Agency. (s.f.). Low emission fuels: Hydrogen.  
<https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>
- CIC Energigune. (s.f.). Hidrógeno. <https://cicenergigune.com/es/blog/hidrogeno>
- Universidad de Zaragoza. (2022). Libro sobre el hidrógeno [PDF].  
<https://zagan.unizar.es/record/119583/files/BOOK-2022-037.pdf>
- Brey, J. (s.f.). Título del artículo. Revista Economía Industrial, n(424), pp-pp.  
<https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/424/JAVIER%20BREY.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima [PDF].  
[https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/pnieccompleto\\_tcm30-508410.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf)
- El Podcast del Hidrógeno. (n.d.). El Podcast del Hidrógeno [Canal de YouTube]. YouTube. <https://www.youtube.com/@elpodcastdelhidrogeno>
- Landeta, J. (1999). El método Delphi. Ariel.
- Energía Estratégica. (s.f.). Los principales desafíos técnicos y regulatorios para impulsar el desarrollo del hidrógeno verde en España. Recuperado el 2 de julio de 2024, de <https://energiaestrategica.es/los-principales-desafios-tecnicos-y-regulatorios-para-impulsar-el-desarrollo-del-hidrogeno-verde-en-espana/>