



## TÍTULO

**ANÁLISIS DE LA CRITICIDAD DE LOS MATERIALES PARA  
QUANTUM DOT LIGHT EMITTING DIODE (QDLED)**

## AUTORA

**Francy Milena Linares Vanegas**

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2019**

<b>Directora/Tutora</b>	Dra. Rosario Vidal Nadal
<b>Instituciones</b>	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Huelva
<b>Curso</b>	<i>Máster Oficial en Tecnología Ambiental (2018)</i>
<b>ISBN</b>	978-84-7993-521-9
©	Francy Milena Linares Vanegas
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
<b>Fecha documento</b>	2019



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

### Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
- **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
- **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
- *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
- *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*



# ANÁLISIS DE LA CRITICIDAD DE LOS MATERIALES PARA QUANTUM DOT LIGHT EMITTING DIODE (QDLED)

Francy Milena Linares Vanegas

Trabajo entregado para la obtención del grado de Máster en  
“Tecnología ambiental”

Modalidad: Investigación

Enero / 2019

Directora:  
Dra. Rosario Vidal



## RESUMEN

Por su gran importancia y actualidad, el presente trabajo realiza el análisis de criticidad a las tecnologías *Light Emitting Diode* LED, *Organic Light Emitting Diode* OLED y *Quantum Dots Light Emitting Diode* QDLED. Estos tipos de tecnología tiene en común que se activan por electroluminiscencia, en dispositivos opto electrónicos (que son los que detectan y controlan la luz), para ser utilizada en pantallas, televisores y equipos biomédicos.

El análisis de criticidad se realiza a partir de dos parámetros establecidos por la Unión Europea desde 2010. Los parámetros son: Riesgo de suministro e Importancia económica. Las fórmulas de los parámetros contienen variables de indicadores ambientales, económicos y políticos. La metodología de investigación es de tipo deductivo debido a que se toma -lo general- lo establecido por la Unión Europea y se aplica a -lo particular- la lista de elementos necesarios para cada tecnología.

Se utilizó la base de datos de Ecoinvent 2.2 y el programa Open LCA para calcular los materiales necesarios para la construcción de (Kg/m<sup>2</sup>) de cada una de las tecnologías estudiadas. Se calcularon en gramos las cantidades necesarias de elementos críticos establecidos por la lista *Critical Raw Materials* CRMs. Las cantidades, los indicadores económicos y ambientales se compararon entre las tres tecnologías por medio de matriz de riesgos, gráficas y semaforización. Se realizaron 14 análisis. Se concluye que la tecnología *Quantum Dots Light Emitting Diode* QDLED es apta para comercializar a gran escala por la mayor estabilidad ambiental y política de los materiales necesarios para su construcción.

## ABSTRACT

Due to its great importance and relevance, this thesis carries out the criticality analysis of *Light Emitting Diode* LED, *organic light-emitting diode* y *Quantum Dots Light Emitting Diode* QDLED technologies. These types of technology are activated by electroluminescence, in optoelectronic devices (which are those that detect and control light), to be used in screens, televisions and biomedical equipment.

The criticality analysis is performed based on two parameters established by the European Union since 2010. These are: Supply risk and Economic importance. The formulas of the parameters contain variables of environmental, economic and political indicators. The research methodology is deductive because -the general-information is based on the established by the European Commission and applies to -the particular- the list of elements necessary for each technology.

In order to calculate the materials required for the construction of (Kg / m<sup>2</sup>) each of the technologies studied were used the programs Ecoinvent 2.2 and the Open LCA. The necessary quantities of critical elements established by the *Critical Raw Materials* CRMs list were calculated in grams. Quantities, economic and environmental indicators were compared among the three technologies by means of risk matrix, graphs and semaphorization. Fourteen analyzes were made. It is concluded that the QDLED technology is suitable for large-scale commercialization due to the greater environmental and political stability of the materials necessary for its construction.

*Agradezco:*

*A Dios a quien a su vez le dedico este trabajo de investigación*

*A mi Directora de proyecto, quien estuvo pendiente de lo que necesitaba para orientarme*

*A la Fundación Carolina, por apoyarme económicamente a cursar el Máster en Tecnología Ambiental en España*

*A la Dra. Simona Scalbi de la Agencia Nacional Italiana para Nuevas tecnologías (ENEA), quien me aclaro dudas acerca del Inventario de la tecnología QDLED.*

*A la dirección del Máster y sus profesores quienes con su conocimiento desbordado y generoso abren la mente hacia un mundo más equilibrado*

*A Magdalena López-Barajas por su asesoría, disposición y correcciones*

*A mi familia, por la paciencia y comprensión durante la realización del trabajo*

*A mis amigas Españolas y latinoamericanas por su compañía y apoyo para culminar el objetivo personal propuesto con el presente Máster*

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
1.1	Estado del arte	9
1.2	Aspectos relevantes	10
<b>2</b>	<b>MÉTODOS Y MATERIALES</b>	<b>15</b>
2.1	Materiales 1- Lista CRM de la UE 2017, Fichas técnicas de los elementos críticos, variables de fórmulas para SR - El	15
2.2	Materiales 2 – Lista de materiales críticos por tecnología, Inventarios y Unidad Funcional	18
2.3	Método 1- Criticidad y Análisis de riesgo	19
2.4	Método 2- Semaforización	22
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>25</b>
3.1	Resultados 1 – Indicadores de suministro e importancia económica	25
3.1.1	LED	26
3.1.2	OLED	37
3.1.3	QDLED	46
3.2	Resultado 2 – CRITICIDAD	54
3.2.1	LED	54
3.2.2	QDLED	58
3.3	Discusión 1- Indicadores de Riesgo de suministro e importancia económica	60
3.4	Discusión 2 – Criticidad	76
3.5	Discusión 3- Balance de las Comparaciones	80
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>83</b>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>87</b>



# CAPITULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se compara la tecnología *Light Emitting Diode* en adelante LED, *organic light-emitting diode* en adelante OLED y *Quantum Dots Light Emitting Diode* en adelante QDLED para determinar cuál de las tres tecnologías tienen materias primas fundamentales o críticas con mayor criticidad, es decir, con mayores riesgos de suministro e importancia económica.

La lista, las cantidades de materiales necesarios para cada tecnología y los inventarios convertidos a una misma unidad funcional se realizaron con la base de datos Ecoinvent 2.2, el programa Open LCA y el inventario de la agencia Nacional Italiana para nuevas tecnologías ENEA. La interpretación de resultados se realizó a partir de la lista de materias primas fundamentales de la Comisión Europea *Critical Raw Materials* en adelante CRMs, Las fichas técnicas u hojas de hechos *factsheet* y el comunicado de la comisión europea de materias primas fundamentales.

Las comparaciones realizadas son:

1. Número de materiales críticos y semi-críticos
2. Número de elementos críticos y semi-críticos
3. Disponibilidad del elemento limitante
4. La repetitividad de los elementos críticos en la lista de la UE
5. Los años de demanda y suministro de los elementos
6. Gobernanza de los elementos críticos
7. Dependencia de las importaciones de elementos de la UE
8. Número de capas vulnerables para las tecnologías
9. Índice del aporte del reciclado
10. Índice de sustitución

Otros resultados se obtuvieron con la cantidad de peso de los elementos, por lo que se comparó:

1. El peso de elementos críticos
2. El peso por capa
3. La criticidad de elementos
4. El consumo de energía de elaboración

Como precedentes se tuvieron que: Los LED son un tipo de tecnología usada en iluminación y pantallas desde 1998 en contraposición a los halógenos y a los incandescentes. Hacia el año 2000 también entraron en el mercado los OLED, los cuales presentan varias patentes por parte de empresas multinacionales. Los QD son una tecnología emergente que se está utilizando actualmente por su eficiencia

energética y para resaltar ondas de colores en percepción visual humana. Los QDLED Se están estudiando a nivel mundial desde muchos puntos de vista para ser utilizada a gran escala.

Las metodologías para dar conclusiones sobre los parámetros evaluados fueron:  
Análisis de riesgo, gráficas y semaforización.

Se hace especial énfasis en categorizar la tecnología QDLED, en cuanto a materias críticas fundamentales, debido a que se han estudiado ventajas comparativas importantes en materia energética y tecnológica respecto a sus antecesoras.

## 1.1 Estado del arte

Un requisito básico para el desarrollo económico sostenible y la producción exitosa de aplicaciones de alta tecnología es el suministro seguro de materias primas, sin interrupciones ni disturbios que conducen a elevar los precios de los productos. Consciente de ello, es la Unión Europea, considerando que su economía depende de los recursos naturales, incluidas las materias primas.

Además, los recursos minerales y pedológicos tienen estrecha relación con las economías de los países porque las materias primas no energéticas están vinculadas a:

- Todas las industrias en todas las etapas de la cadena de suministro
- Tecnología moderna: el progreso tecnológico y la calidad de vida dependen del acceso a un número creciente de materias primas.
- Medio ambiente: las materias primas están estrechamente relacionadas con las tecnologías limpias. Son insustituibles en paneles solares, turbinas eólicas, vehículos eléctricos e iluminación de bajo consumo<sup>1</sup>.

La investigación, declaración y difusión de la criticidad de la materia prima aporta a una Europa eficiente en el uso de los recursos, y es un paso dentro del plan de Acción de la Unión Europea para la economía circular con el fin de promover su utilización eficaz y reciclado, además para corregir las tendencias al uso insostenible de los recursos<sup>2</sup>.

La Comisión Europea define la criticidad de la materia prima de la siguiente manera "Para calificar como crítico, una materia prima debe enfrentar altos riesgos con respecto al acceso a ella, es decir, altos riesgos de suministro o altos riesgos ambientales, y ser de alto importancia. En tal caso, la probabilidad de que se presenten impedimentos para el acceso es relativamente alta y los impactos para toda la economía de la UE serían relativamente significativos"<sup>3</sup>.

El análisis de criticidad es una fórmula expresada por la UE, para determinar el alcance del uso de los materiales disponibles para garantizar el empleo y la competitividad dentro de la economía mundial. La criticidad se establece a partir de los dos parámetros establecidos por elemento químico: riesgo de suministro (SR) e Importancia económica (EI). Con base a ellos se ha dado a conocer las listas de materias primas críticas en los últimos 7 años (2011, 2014 y 2017).

---

<sup>1</sup> European commission (2017). Internal market, industry, entrepreneurship and SMEs, Critical Raw materials. Online: [http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en). Brussels, Belgium.

<sup>2</sup> Agencia europea del medio ambiente (2017). Uso del suelo. Online: <https://www.eea.europa.eu/es/themes/landuse/intro>. Dinamarca.

<sup>3</sup> European Commission (2010). Press release Database. Online: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-10-263\\_es.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-10-263_es.htm). Bruselas.

La criticidad de la materia prima puede interpretarse como el "riesgo sistémico" para una economía debido a las perturbaciones en el suministro de materia prima. Por la similitud en la presentación, lectura y análisis, la metodología más apropiada para determinar la criticidad es a partir de la matriz de criticidad comparada con la "matriz de riesgos".<sup>4</sup>

Se están analizando bajo esta metodología muchos materiales para optar comercialmente por esta tecnología para diferentes aplicaciones, hoy utilizada y comercializada en pantallas QD-LED. En el presente trabajo se estudió la criticidad de los materiales bajo un inventario específico de un laboratorio Italiano.

Dentro de la criticidad y debido a la incertidumbre algunos de los diseños actuales involucran metales en o cerca de las regiones problemáticas del espacio de criticidad, por lo que se pueden hacer esfuerzos para encontrar fuentes de suministro seguras, para aumentar la utilización del material en la fabricación, para reducir el uso de metales críticos, o para aumentar el reciclaje crítico de metales<sup>5</sup>

Los estudios más recientes parecen estar de acuerdo en encontrar que los elementos que son menos ampliamente utilizados son generalmente más críticos. Sin embargo, la criticidad de evaluación de los metales no debe considerarse estática, sino un resultado que evolucionará con el tiempo a medida que se ubiquen nuevos depósitos de mineral, las circunstancias políticas cambian y las tecnologías se transforman. Esta característica dinámica de la criticidad de los materiales requiere que haya una evaluación continua de la misma<sup>6</sup>

## 1.2 Aspectos relevantes

Las materias primas son esenciales para la producción tanto de bienes y servicios utilizados en la vida cotidiana como para el desarrollo de innovaciones emergentes. La velocidad en la innovación tecnológica especialmente en tecnologías para pantallas conlleva un rápido cambio en la demanda mundial de metales y minerales. Vale aclarar que estos cambios de LED, OLED a QDLED deben garantizar el acceso a un suministro estable de las materias primas que contengan.

Los LED son unos dispositivos electrónicos que proporcionan luz, actualmente utilizados para pantallas e iluminación. Tienen la estructura interna y externa como se ve en la Figura 1. El inventario utilizado se encontraba a 5mm y para trabajar las

---

<sup>4</sup> Asset Insights (2014). Criticality Matrix (Risk Matrix). Online: [http://www.assetinsights.net/Glossary/G\\_Criticality\\_Matrix.html](http://www.assetinsights.net/Glossary/G_Criticality_Matrix.html).

<sup>5</sup> Duclos SJ, Otto JP, Konitzer DG (2010). Design in an era of constrained resources. England.

<sup>6</sup> European commission (2017). Internal market, industry, entrepreneurship and SMEs, Critical Raw materials. Online: [http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en). Brussels, Belgium.

unidades en función del área este se multiplica por 1mm, que es la medida estándar del Chip LED<sup>7</sup>

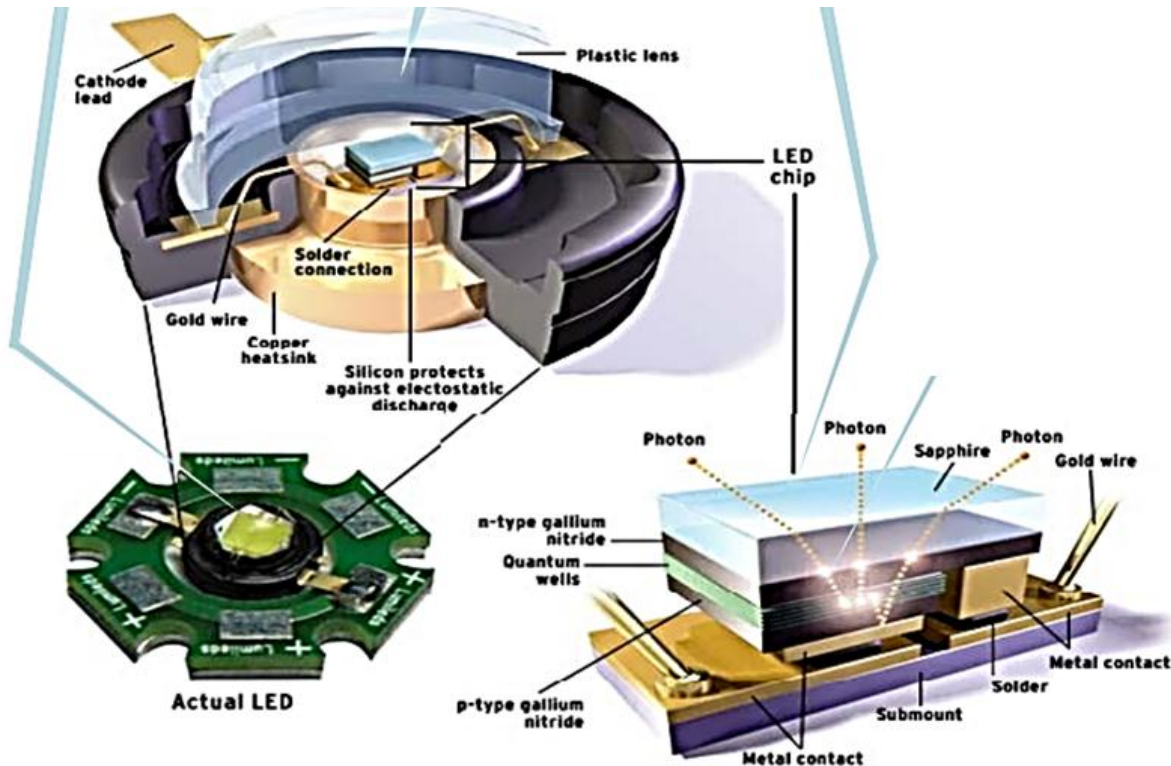


Figura 1. Estructura LED<sup>8</sup>

Existen varios tipos de *organic light-emitting diode* OLED, patentadas sus fórmulas en multinacionales comerciales, la lista de materiales estándar para su construcción se consiguió en uno de los inventarios de *Tokyo Chemical Industry TCI*<sup>9</sup> algunas de las estructuras establecidas son las siguientes:

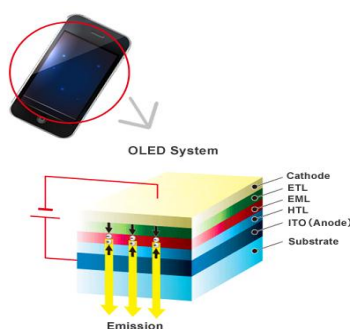


Figura 2. Estructura OLED según hogogaya<sup>10</sup>

<sup>7</sup> Philips (2007). Lighting your path to the future. Online: [https://www.imaps.org/gbc/IMAPS07/GBC1\\_PhilipsLumileds.pdf](https://www.imaps.org/gbc/IMAPS07/GBC1_PhilipsLumileds.pdf)

<sup>8</sup> Philips (2007). Lighting your path to the future. Online: [https://www.imaps.org/gbc/IMAPS07/GBC1\\_PhilipsLumileds.pdf](https://www.imaps.org/gbc/IMAPS07/GBC1_PhilipsLumileds.pdf)

<sup>9</sup> Tokio Chemicals Industry TCI & Co. (2018). Online: <https://www.tcichemicals.com/pdf/F2014E.pdf>. Tokio.

<sup>10</sup> Hodogaya Chemical. (2004) Online: <https://www.hodogaya.co.jp/english/products/oled/>. Japanese.

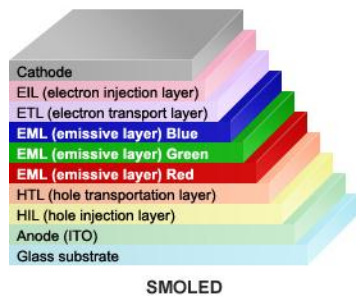


Figura 3. Capas de SMOLED<sup>11</sup>

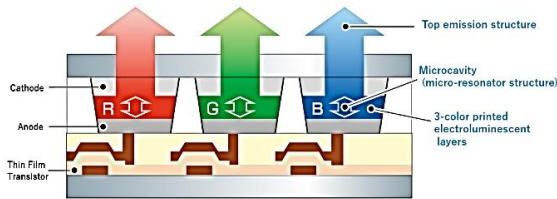


Figura 4. Estructura JOLED<sup>12</sup>

Los puntos (QD) son un área reciente de exploración industrial en el campo de pantallas planas y aligeramiento de estado sólido. Los QD son una tecnología emergente que está proporcionando a los sistemas ópticos una mayor capacidad de eficiencia energética y mejores resultados visuales, a partir de haces de luz determinados según la frecuencia de emisión de ondas específicas del material.

Los diodos emisores de luz basados en puntos cuánticos (QDs-LED) son nanotecnología emergente que se ha desarrollado recientemente y puede ofrecer muchas ventajas sobre los diodos emisores de luz convencionales (LED) y OLED en términos de pureza del color, estabilidad y los costos de producción mientras se logra un nivel similar de eficiencia<sup>13</sup>. Su estructura es como se muestra en la Figura 5.

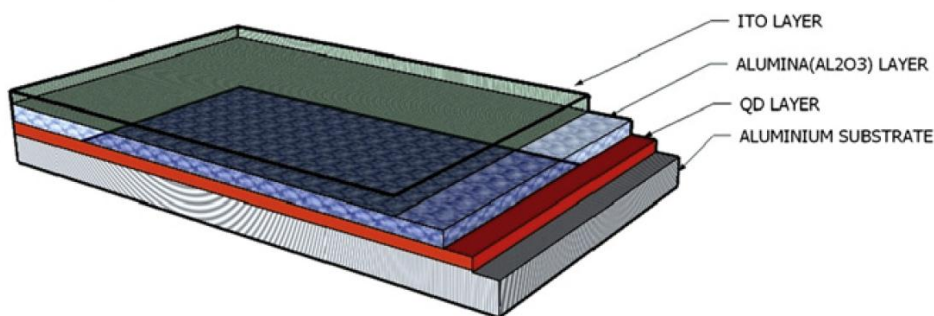


Figura 5. Estructura de QDLED<sup>14</sup>

<sup>11</sup> Sumitomo chemical. (2014) Online: <https://www.sumitomo-chem.co.jp/english/plcd/about.html>. Japanese.

<sup>12</sup> Joled. (2018) Online: <https://www.j-oled.com/eng/company/> Japanese.

<sup>13</sup> Yang, Y. & Co., (2015). High-efficiency light-emitting devices based on quantum dots with tailored nanostructures. Nature Photonics

<sup>14</sup> Hatice Sengül (2010). An environmental impact assessment of quantum dot photovoltaics (QDPV) from raw material acquisition through use. El sevier.

En el estudio ambiental de nuevas *Italian National Agency for new technologies, energy and sustainable economic Development* tecnologías: para la producción de QD-LED liderado por demostró que los materiales actualmente utilizados para este tipo de tecnología por su eficiencia energética ha sido bajo el proceso: precursor CdS - Polímero PME 124. Los materiales químicos utilizados son los utilizados en el ánodo, cátodo, capas de recubrimiento, precursor 04 y el monómero 1 y el monómero 2 que producirán el polímero PME124<sup>15</sup>.

### 1.3 Objetivos

- Determinar la criticidad para *Quantum Dots Light Emitting Diode* QDLED
- Comparar criticidad de *Quantum Dots Light Emitting Diode* QDLED con otros tipos de *Light Emitting Diode* LED

---

<sup>15</sup> Simona Scalbi (2016). Environmental assessment of new technologies: production of a Quantum Dots Light Emitting Diode. Italy. El sevier.





## CAPÍTULO 2

### 2 MÉTODOS Y MATERIALES

Se aplica la metodología de investigación Deductiva, tomando como guía las fichas técnicas de todos los elementos críticos en la UE (generalidad) y aplicándolas a los elementos utilizados en la construcción de las diferentes tecnologías estudiadas: *Light Emitting Diode* LED, *Organic Light Emitting Diode* OLED y *Quantum Dots Light Emitting Diode* QDLED (particularidad).

#### 2.1 Materiales 1- Lista CRM de la UE 2017, Fichas técnicas de los elementos críticos, variables de fórmulas para SR - EI

La lista *Critical Raw Materials*, CRM, es la lista que publica la Comisión Europea de materiales Fundamentales o críticos para Su Economía. La primera lista fue publicada en 2011, la segunda en 2014 y la tercera y última en 2017 (Anexo 12).

La comisión Europea basa la criticidad en dos parámetros: El Riesgo de suministro (SR) y la Importancia económica (EI). *Study on the review of the list of Critical Raw Materials*<sup>16</sup> recoge los datos de criticidad por año y por material. De este estudio se extrajeron:

- Los años de repetitividad como elementos críticos y el valor de SR – EI.

Para determinar la comparación en la criticidad de las tecnologías en estudio, se extrajo de las fichas de hechos de los elementos críticos de la unión europea<sup>17</sup> las cantidades de las variables de las fórmulas para Riesgo de Suministro SR e Importancia Económica EI de la última lista publicada de 2017. Las fórmulas matemáticas son las siguientes:

$$SR = \left[ (HHI_{WGI-t})_{GS} \cdot \frac{IR}{2} + (HHI_{WGI-t})_{EU_{sourcing}} \left( 1 - \frac{IR}{2} \right) \right] \cdot (1 - EOL_{RIR}) \cdot SI_{SR}$$

**Ecuación 1.** Fórmula para calcular Riesgo de suministro 2017

<sup>16</sup> European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Criticality Assessments. Brussels.

<sup>17</sup> European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials Factsheets. Online: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>. Brussels.

En esta fórmula, SR significa riesgo de suministro:

- ❖ HHI es el índice Herfindahl Hirschman (usado como un proxy para la concentración del país);
- ❖ WGI es el Índice de gobernabilidad mundial escalado (utilizado como un proxy para la gobernanza del país);
- ❖ t es igual al ajuste comercial (de WGI);
- ❖ IR es la dependencia de importación;
- ❖ EOLRIR es la tasa de entrada de reciclaje al final de su vida útil;
- ❖ SISR = Índice de sustitución relacionado con el riesgo de suministro.

$$EI = \sum_s (A_s * Q_s) * SI_{EI}$$

**Ecuación 2.** Fórmula para calcular Importancia Económica 2017

En esta fórmula:

- ❖ EI es importancia económica;
- ❖ As Como es la proporción del uso final de una materia prima en un sector de nivel de 2 dígitos de la NACE Rev. 2;
- ❖ Qs es el VA de la NACE Rev. 2 sector de nivel de 2 dígitos;
- ❖ SIEI es el índice de sustitución (SI) de un RM (que se utilizará en importancia económica); y s denota sector<sup>18</sup>.

Los datos extraídos de las variables HHI, EOLRIR, IR, fueron:

- Demanda e incertidumbre de elementos críticos a 5,10 y 20 años
- Países de mayor comercio de los elementos críticos y porcentaje de comercio por país
- Cantidad producción mundial
- Porcentaje de disponibilidad de los elementos críticos para iluminación y/o tecnología
- Dependencia de importación
- Índice de reciclaje de los elementos críticos
- Índice de sustitución

Se determinó que: As sector para manufacturas de tecnologías NACE es el número 26, como se puede ver en la siguiente imagen con la clasificación a dos decimales:

---

<sup>18</sup> Gian Andrea Blenginia, & Co. (2017). EU methodology for critical raw materials assessment: Policy needs and proposed solutions for incremental improvements. El sevier.

**Tabla 1. Sector de Manufactura de tecnología según la NACE<sup>19</sup>**

26			Manufacture of computer, electronic and optical products	
	26.1		Manufacture of electronic components and boards	
		26.11	Manufacture of electronic components	2610*
		26.12	Manufacture of loaded electronic boards	2610*
	26.2		Manufacture of computers and peripheral equipment	
		26.20	Manufacture of computers and peripheral equipment	2620
	26.3		Manufacture of communication equipment	
		26.30	Manufacture of communication equipment	2630
	26.4		Manufacture of consumer electronics	
		26.40	Manufacture of consumer electronics	2640
	26.5		Manufacture of instruments and appliances for measuring, testing and navigation; watches and clocks	
		26.51	Manufacture of instruments and appliances for measuring, testing and navigation	2651
		26.52	Manufacture of watches and clocks	2652
	26.6		Manufacture of irradiation, electromedical and electrotherapeutic equipment	
		26.60	Manufacture of irradiation, electromedical and electrotherapeutic equipment	2660
	26.7		Manufacture of optical instruments and photographic equipment	
	26.70	Manufacture of optical instruments and photographic equipment	2670	
26.8		Manufacture of magnetic and optical media		
	26.80	Manufacture of magnetic and optical media	2680	

También se analizó la variable WGI a partir de los indicadores gubernamentales de los países. Los Indicadores de gobernanza mundial (WGI, por sus siglas en inglés) son un conjunto de datos de investigación que resume los puntos de vista sobre la calidad de la gobernabilidad proporcionada por un gran número de encuestados de empresas, ciudadanos y expertos en países industriales y en desarrollo. Estos datos se recopilan de una serie de institutos de estudio, grupos de expertos, organizaciones no gubernamentales, organizaciones internacionales y empresas del sector privado<sup>20</sup>.

El WGI refleja las percepciones de la calidad de los servicios públicos, la calidad de la administración pública y el grado de su independencia de las presiones políticas, la calidad de la formulación y ejecución de las políticas, y la credibilidad del compromiso del gobierno con tales políticas.

Para evaluar la efectividad del gobierno se utilizan 6 dimensiones de gobernabilidad, las cuales son: Voz y Responsabilidad, Estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo, Efectividad del gobierno, Calidad regulatoria, Imperio de la ley. El valor estimado para poder comparar los países gobernantes de los elementos de cada una de las tecnologías en estudio (LED, OLED Y QDLED). Con este indicador se determinó el parámetro:

- Gobernanza de los elementos críticos

<sup>19</sup>European Commission, Eurostat (2008). NACE Rev.2, Statistical classification of economic activities in the European Community. Luxembourg.

<sup>20</sup>World bank group (2018), Worldwide Governance Indicators (WGI) Project dataset 2016, Online: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>. USA.

## 2.2 Materiales 2 – Lista de materiales críticos por tecnología, Inventarios y Unidad Funcional

Las listas de materiales necesarios para la construcción de cada tecnología a analizar es indispensable para poder sacar la formula con sus elementos constituyentes, porque con la formula ya se puede determinar si los elementos que componen esos materiales se encuentran o no en la lista de elementos críticos de la Unión Europea.

Tener la fórmula también proporciona la cantidad de átomos y con ello el peso molar de los elementos dentro de cada compuesto y su porcentaje de masa en las moléculas, y facilita la comparación de cantidades entre tecnologías. A partir de las listas y las fórmulas de los materiales se pudo comparar para las tres tecnologías estudiadas los siguientes parámetros:

- Número de materiales críticos y semi-críticos
- Número de elementos críticos y semi-críticos.

El inventario añade a la lista los pesos, los materiales necesarios para la construcción de cada una de las tecnologías en estudio. Y para que sean comparativos entre si los inventarios deben estar expresados en las mismas unidades funcionales.

Se contó únicamente con inventario para LED y QDLED debido a que OLED tiene sus inventarios patentados comercialmente. El inventario de LED se extrajo de los inventarios de **OpenLCA** el ítem: Light emitting diode, LED, GLO de la base de datos **Ecoinvent 2.2** (Anexo 1). Y el inventario de QDLED se extrajo del artículo de *Environmental assessment of new technologies: Production of a Quantum Dots-Light Emitting Diode, table 3, inventory data for QDs-LED production*<sup>21</sup>.

Los dos inventarios disponibles se llevaron a misma unidad funcional (Kg/m<sup>2</sup>), con las cantidades obtenidas se pudieron comparar los siguientes parámetros:

- Peso de los elementos críticos
- Peso por capa
- Criticidad de los elementos
- Consumo de energía de elaboración

---

<sup>21</sup> Simona Scalbi (2016). Environmental assessment of new technologies: production of a Quantum Dots Light Emitting Diode. Italy. El sevier.

## 2.3 Método 1- Criticidad y Análisis de riesgo

Para abordar la creciente preocupación de asegurar materias primas valiosas para la economía de la UE, la Comisión Europea (CE) lanzó la Iniciativa Europea de Materias Primas en 2008. Es una estrategia integrada que establece medidas específicas para asegurar y mejorar el acceso a las materias primas para la UE. :

- Asegurar un suministro justo y sostenible de materias primas de los mercados internacionales;
- Fomento del suministro sostenible en la UE; y
- Impulsar la eficiencia de los recursos y promover el reciclaje.

Una de las acciones prioritarias de la Iniciativa fue establecer una lista de materias primas no energéticas críticas a nivel de la UE<sup>22</sup>. La primera lista se estableció en 2011 y se actualiza cada tres años. La primera evaluación, realizada en 2011, identificó 14 materias primas críticas de las 41 materias primas candidatas no agrícolas y no energéticas evaluadas. En el ejercicio de 2014, se identificaron 20 materias primas como críticas de 54 materiales candidatos no agrícolas y no energéticos<sup>23</sup>.

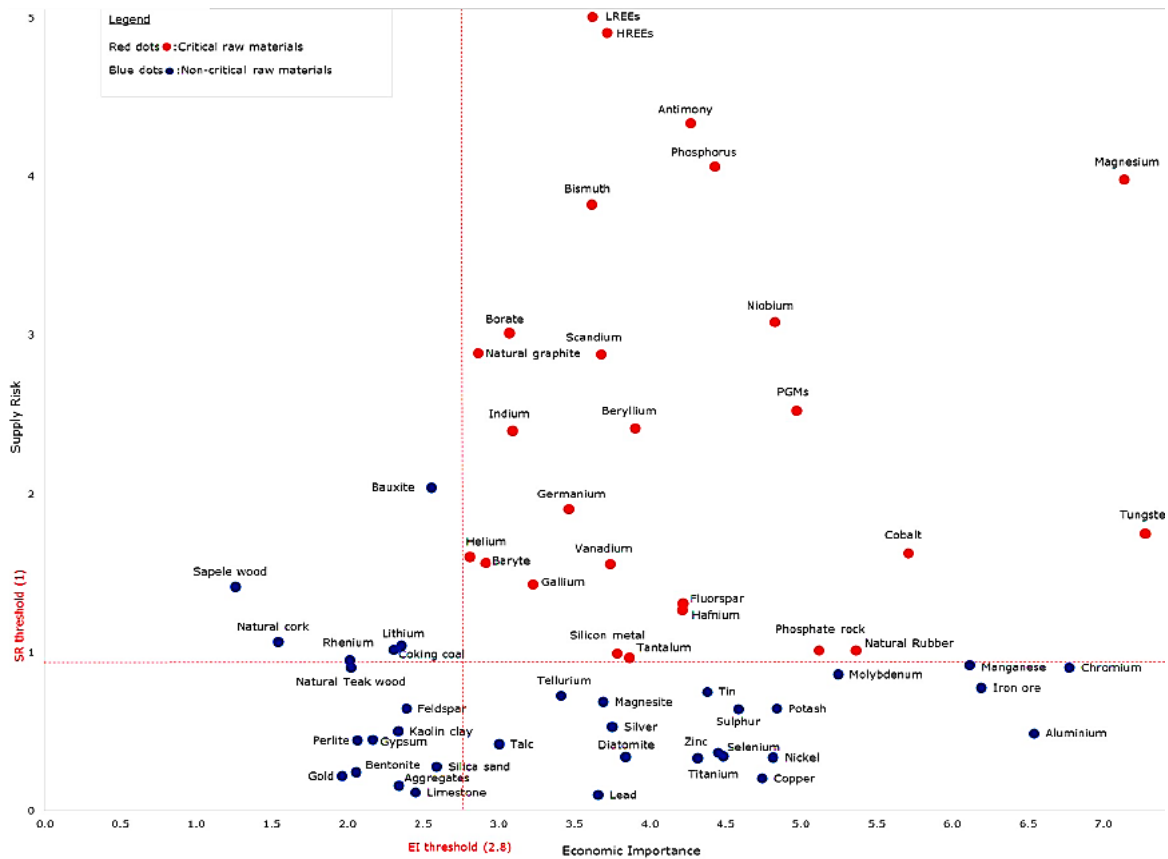
Con los resultados de la Importancia económica y riesgo de suministro de los materiales, se publica un comunicado de la Comisión al parlamento Europeo, al consejo económico y social europeo y al comité de las regiones. El 13 de septiembre de 2017 se publica en Bruselas la lista actualizada de las 27 materias primas fundamentales para la UE<sup>24</sup>.

---

<sup>22</sup> European commission (2008). Policy and strategy for raw materials. Online: [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en). Brussels.

<sup>23</sup> European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Criticality Assessments. Brussels.

<sup>24</sup> Comisión Europea (2017). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones, relativa a la lista de d e2017 de materias primas fundamentales para la UE. Bruselas.



**Figura 6.** Importancia económica y resultados de riesgo de suministro de la evaluación de criticidad 2017<sup>25</sup>

Siguiendo las últimas formulas establecidas para la evaluación de elementos químicos, los parámetros fueron: Un riesgo de suministro superior a 1 y una importancia económica superior a 2,8 da como resultado un material Fundamental para la economía de la Unión Europea y por lo tanto crítico para uso. En 2017 se establecieron 27 elementos y se dibujan en la zona superior derecha con un punto rojo<sup>26</sup>, como se ve en la Figura 6.

Es notable que los elementos de tierras raras (puntos rojos superiores) forman un patrón de riesgo de suministro alto, seguidas por el antimonio y por el fosforo, este último es un elemento que se cuenta como crítico desde 2017. También se puede observar que el magnesio y el tungsteno se encuentran con la mayor Importancia económica. Los demás elementos se encuentran entre el rango de los críticos y los extremos.

Por el contrario, un metal cayendo en región de puntos azules se puede utilizar con poca preocupación de que su disponibilidad estará limitada de cualquier manera y

<sup>25</sup> European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Criticality Assessments. Brussels

<sup>26</sup> European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Criticality Assessments. Brussels.

representa una región de oportunidad para los proveedores activos de metales pero cuyo alto riesgo de suministro limita el número de competidores<sup>27</sup>

Esta Matriz de criticidad proviene del diagrama de criticidad esquemática (Figura 7) y tiene estrecha relación con el diagrama de análisis de riesgo clásico (Figura 8). El análisis de riesgo clásico también se conoce como Matriz de riesgo general, grillas de impacto de probabilidad o mapas de riesgo, por la forma de cuadrículas con la que se presenta.

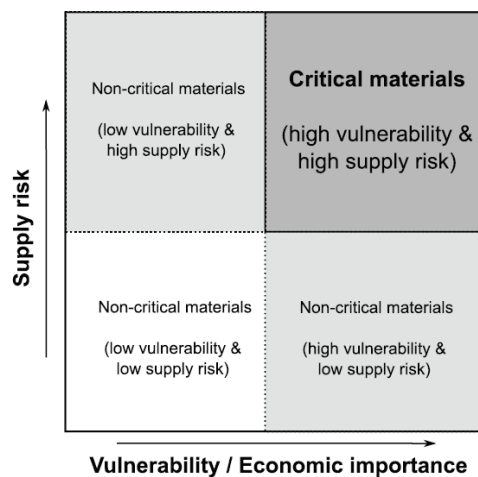


Figura 7. Diagrama de criticidad esquemática<sup>28</sup>

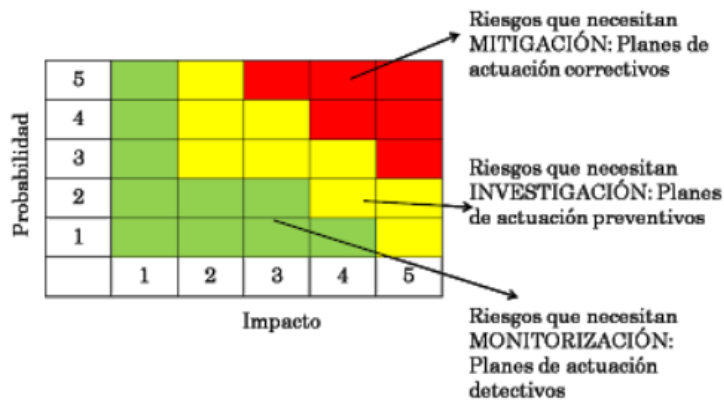


Figura 8. Diagrama de análisis de riesgos<sup>29</sup>

<sup>27</sup> T.E. Graedela & Co (2015). Criticality of metals and metalloids. South Africa.

<sup>28</sup> EU Commission 2014. Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad-Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. Brussels: EU Commission.

<sup>29</sup> Institución Universitaria de Envigado (2016). Matriz de análisis de riesgos. Online: <https://sites.google.com/site/avauditoriaeninformatica/home/modulo-3-tecnicas-y-herramientas-de-la-auditoria-de-sistemas/diseño-de-la-matriz-de-riesgos>. Colombia.

Su semejanza se encuentra en que Siguiendo la definición clásica de riesgo define la criticidad de la materia prima como el producto de la probabilidad de interrupciones en el suministro y sus consecuencias económicas. Tomando la definición de criticidad de materia prima, se puede definir una función de criticidad sobre los ejes de riesgo de suministro y vulnerabilidad. Al proyectar la función de criticidad en la matriz de criticidad bidimensional, cada punto dentro de la matriz obtiene un nivel de criticidad específico<sup>30</sup>

Erdmann, L. y Graedel, en el 2011, clasificaron los principales estudios que tratan de la cuantificación de la criticidad de la materia prima y los riesgos de suministro en tres categorías

1. Estudios que utilizan el principio de una matriz de criticidad como una modificación de una matriz de riesgo clásica para evaluar la criticidad de la materia prima.
2. Estudios que cuantifican un índice de riesgo único que se calcula a partir de diferentes subindicadores.
3. Estudios que trabajan con análisis de escenarios y análisis de series de tiempo para pronosticar desarrollos de demanda (y suministro)<sup>31</sup>

Siguiendo la primera de las tres categorías, se extrajo dentro de una matriz de riesgo la criticidad de los elementos críticos utilizados para cada tecnología. Se utilizan las dos dimensiones: riesgo de suministro como probabilidad e Importancia económica como vulnerabilidad.

## **2.4 Método 2- SemafORIZACIÓN y fórmula de criticidad**

En los últimos años se han realizado estudios de criticidad de materiales con criterios que apuntan a la medición de los parámetros de criticidad SR – El por elemento, se pueden presentar con datos cuantitativos o cualitativos. Los criterios más comunes según la UE se presentan en la Figura 9:

---

<sup>30</sup> Simon Glöser & Co (2015). Raw material criticality in the context of classical risk assessment. Germany. Elsevier.

<sup>31</sup> Erdmann, L., Graedel, T.E., (2011). Criticality of non-fuel minerals: a review of major approaches and analyses. Environ. Sci. Technol.



Indicator	Dimension	Data type	
Geopolitical concentration	SR	●	
Static reserve range	SR	●	
Mine production	SR	●	
Economic relevance	VU	○	
Supply & demand trends	SR	●	
Strategic relevance	VU	○	
Recycling rates	SR	●	
Substitutability	VU / SR	○	
Production as by-product	SR	○	
Political conditions	VU	○	
Company concentration	SR	●	
Emerging technologies	VU / SR	○	
Production costs	SR	●	
Functionality & Technology	VU	○	
Ability to drive through price	VU	○	
Damage potential	ER	○	
Impact on climate change	SR / ER	○	
Exploration budget & investment	SR	●	

○ : Qualitative data ● : Quantitative data VU: Vulnerability SR: Supply Risk ER: Environmental risk

Figura 9. Criterios comunes de las metodologías de criticidad<sup>32</sup>

Se seleccionaron 10 criterios cuantitativos de los indicadores de vulnerabilidad (EI) y de probabilidad (SR) utilizados en los últimos estudios para las tres tecnologías: LED, OLED y QDLED. Se compararon, calificaron y evaluaron las tecnologías por medio de la metodología de semaforización.

La semaforización es una Metodología simplificada para la evaluación del riesgo ligada al análisis de riesgo. En esta se asigna un color a la prioridad de actuación o alerta. El rojo significa que los riesgos necesitan mitigación, el amarillo que los riesgos necesitan Investigación y que los verdes necesitan monitorización.

La fórmula de criticidad está dada por la multiplicación de Riesgo de suministro (SR) por la Importancia Económica (EI) por la unidad funcional (UF) como se puede ver en la Ecuación 3, y resuelta y analizada en Resultados 2 del presente trabajo de investigación.

$$C = SR \cdot EI \cdot UF$$

**Ecuación 3.** Formula de criticidad

La unidad funcional determinada para la comparación de los resultados de criticidad es Kg/m<sup>2</sup>

<sup>32</sup> Mayer, H. and Gleich, B. (2015) Measuring Criticality of Raw Materials: An Empirical Approach Assessing the Supply Risk Dimension of Commodity Criticality. Natural Resources, 6, 56-78.



## CAPITULO 3

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 Resultados 1 – Indicadores de suministro e importancia económica

Los primeros resultados destacados son los extraídos de los Estudios sobre la revisión de la lista de materias primas críticas: un estudio con las fichas técnicas de los elementos críticos<sup>33</sup> y el otro estudio son las Evaluaciones de criticidad<sup>34</sup>. Ambos estudios publicados por la Comisión Europea, las evaluaciones de criticidad en junio de 2017 y las fichas técnicas el mismo día del comunicado de la lista de los CRM de la Unión Europea, 13/09/ 2017<sup>35</sup>.

La investigación de ambos documentos es una revisión conjunta entre: *British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Deloitte Sustainability, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, TNO*. La ficha por elemento crítico contiene todos los datos para los parámetros establecidos en la formulas propuestas para Riesgo de suministro e Importancia económica.

Los datos por elemento crítico se extrajeron de los documentos. Los elementos críticos se sacaron de las fórmulas de los compuestos integrantes de cada tecnología y las formulas se sacaron de las listas de materiales necesarios para la construcción de cada una de las tecnologías estudiadas: LED, OLED y QDLED. A partir de estos datos se expone por tipo de tecnología los 10 siguientes resultados:

1. Número de materiales críticos y semi-críticos
2. Número de elementos críticos y semi-críticos
3. Disponibilidad del elemento limitante
4. La repetitividad de los elementos críticos en la lista de la UE
5. Los años de demanda y suministro de los materiales

---

33 European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials Factsheets. Online: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>. Brussels.

<sup>34</sup> European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Criticality Assessments. Brussels.

<sup>35</sup> Comisión Europea (2017). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones, relativa a la lista de d e2017 de materias primas fundamentales para la UE. Bruselas.

6. Gobernanza de los elementos críticos
7. Dependencia de las importaciones de elementos de la UE
8. Número de capas vulnerables para las tecnologías
9. Índice del aporte del reciclado
10. Índice de sustitución

En esta primera parte de los resultados se expondrán los orígenes de los datos expuestos en las tablas, especialmente en la primera tecnología presentada LED, para las otras dos tecnologías por ser del mismo origen los datos, simplemente se expondrán las observaciones que sean pertinentes.

### 3.1.1 LED

#### 3.1.1.1 Conteo de materiales y elementos críticos y semi-críticos LED

Se consideran elementos críticos los que se encuentran dentro de los 27 establecidos como tal en la lista CRM-UE, y los elementos semi-críticos son los que fueron considerados como posiblemente críticos por los investigadores, de la cual se considera una lista de 78 elementos.

El conteo de materiales se realizó a partir de la lista de los materiales y elementos críticos para tecnología LED (Anexo 2 y Anexo 9). Se extrajo de la base de datos Ecoinvent 2.2 del programa OpenLCA (Anexo 1). El resumen de la lista se puede ver numéricamente en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Número de materiales y elementos críticos y semi-críticos LED

Tecnología	Materiales		Elementos	
	Críticos	Semicríticos	Críticos	Semicríticos
LED	22	60	13	18

#### 3.1.1.2 Cantidad de producción de elementos críticos a nivel mundial LED

Las cantidades de producción de elementos críticos a nivel mundial LED, se extrajeron de las fichas técnicas o fichas de hechos de la Comisión Europea. También se extrajo la cantidad de Toneladas de producción de cada uno de los elementos. Se ordenan ascendientemente las cantidades de los elementos. En la Tabla 3 se expone el elemento crítico, la cantidad de materiales que contiene el elemento y se determina el elemento limitante por su menor producción mundial. Se concluye que dentro de los materiales LED, el más crítico es el Rodio (Rh).

**Tabla 3.** Orden ascendente de cantidad de producción mundial de elementos críticos LED

Elemento crítico	Cantidad de materiales que lo contienen	Producción elemento (Ton/año)
Rh	6	2,15E+01
Pt	6	1,87E+02
Pd	6	2,09E+02
Ga	1	3,40E+02
In	1	6,89E+02
Mg	4	8,46E+02
Ta	1	1,80E+03
Sb	1	4,28E+04
Co	1	1,35E+05
B	1	1,00E+06
F	1	6,62E+06
Ba	1	9,20E+06
P	2	2,18E+14
<b>Total</b>	<b>32</b>	

3.1.1.3 Conteo de repetitividad de los elementos críticos para LED en la lista CRM-EU

**Tabla 4.** Años de repetitividad de los elementos críticos LED en la lista de la UE

Elemento crítico	Año			Empezó a ser crítico en 2017	Se repite en 2 años	Se repite en 3 años
	2011	2014	2017			
Sb	si	si	si			Sb
B	no	si	si		B	
Ba	no	no	si	Ba		
Co	si	si	si			Co
F	si	si	si			F
Ga	si	si	si			Ga
In	si	si	si			In
Mg	si	si	si			Mg
Pd	si	si	si			Pd
P	no	si	si		P	
Pt	si	si	si			Pt
Rh	si	si	si			Rh
Ta	si	no	si		Ta	
<b>Total</b>	10	11	13	1	3	9

La repetitividad de un elemento en la lista indica que es un elemento que a través del tiempo, sigue con riesgo de suministro alto e importancia económica alta, lo que significa que son elementos a los que la economía no ha invertido lo suficiente en la mitigación de su riesgo y por ende hasta que no se pongan estas medidas seguirán siendo críticos hasta su extinción (Tabla 4).

La siguiente tabla también indica que a través del tiempo hay mayores riesgos de suministro e importancia económica para los elementos químicos y hay más elementos considerados como críticos. Como se puede observar en los años más recientes existen más elementos críticos para una misma tecnología.

**Tabla 5.** Porcentaje de repetitividad de elementos en los diferentes años en la lista CRM de la UE

Elemento crítico	Total de elementos	2011	2014	2017	Empezó a ser crítico en 2017	Se repite en 2 años	Se repite en 3 años
<b>Total</b>	13	10	12	13	1	3	9
<b>Porcentaje</b>	100	76,92	92,31	100	7,69	23,08	69,23

#### 3.1.1.4 Años demanda y suministro para elementos críticos LED

**Tabla 6.** Porcentaje de elementos críticos LED con incertidumbre en demanda y suministro a 5, 10 y 20 años

Elemento	Demanda			Suministro		
	5	10	20	5	10	20
Sb	+	+	+	+	+	+
B	+	+	?	+	+	?
Ba	+	+	+	+	+	+
Co	+	+	+	+	+	+
F	?	?	?	?	?	?
Ga	+	?	?	+	?	?
In	+	+	?	+	+	?
Mg	+	+	+	+	+	+
Pd	+	+	?	+	+	?
P	+	+	+	+	+	0
Pt	+	+	?	+	+	?
Rh	+	+	?	+	+	?
Ta	?	?	?	?	?	?
<b>Elementos disponibles</b>	11	10	5	11	10	4
<b>Elementos con incertidumbre</b>	2	3	8	2	3	9
<b>Porcentaje elementos con incertidumbre</b>	15,4	23,1	61,5	15,4	23,1	69,2

Este es un indicador que se ha considerado tanto para SR como para EI<sup>36</sup>, ya que expresa los años de demanda y suministro por elemento crítico a 5, 10 y 20 años. A partir de estos datos se realizó la cuenta de los elementos con incertidumbre por tecnología y el porcentaje de elementos con incertidumbre. Se llama incertidumbre a las expresiones (?) y (-) de las hojas de hechos de la Comunidad Europea.

Lo que se puede observar en la Tabla 6, es que la demanda y suministro van de manera simultánea, aunque el suministro será menor que la demanda especialmente después de los 10 años. Porque para en 20 años 4 de los 13 elementos será incierto su suministro, incluyendo el elemento limitante.

### 3.1.1.5 Gobernanza de los elementos críticos LED

Gobernanza de los elementos críticos es determinar su existencia por país, las políticas del país donde se encuentran los elementos críticos y determinar según los indicadores de gobernabilidad los países con mayor vulnerabilidad en su economía.

El porcentaje de las reservas de los países se extrajo de las fichas de hechos por elemento. Con lo cual se determina que los países con mayor porcentaje de existencia de elementos críticos dentro de su territorio y disponible para el comercio de los mismos son: China, Estados Unidos, Rusia y Sudáfrica, como se puede observar en la tabla de porcentajes de reserva-países.

Por otra parte, se investigaron los indicadores de gobernabilidad de los 22 países involucrados en la comercialización de elementos críticos para la tecnología LED. A estos países se les investigó los datos para el dato de WGI: Voz y rendición de cuentas (*Voice and Accountability*), Estabilidad política (*Political Stability and Absence of Violence/Terrorism*), estabilidad gubernamental (*Government Effectiveness*), calidad regulatoria (*Regulatory Quality*), Estado de derecho (*Rule of Law*) y control de la corrupción (*Control of Corruption*).

El rango de estabilidad se encuentra en un valor positivo, por lo que los datos entre -2,5 y 0 se denotan como indicadores débiles. En la tabla de indicadores de gobernanza se denotan coloreados los datos de los indicadores débiles por país y su respectivo conteo.

---

<sup>36</sup> M, Frenzel (2017). Raw material 'criticality'—sense or nonsense?. Topical review • open access.

Tabla 7. Porcentaje de reserva en Países con elementos críticos LED (%)																							
Elementos críticos LED	China	US	Rep. Dem. Congo	Alemania	Corea del sur	Japón	Canada	Rusia	Brasil	Mex	Sud - africa	Turq.	Argent.	Mongol	Vietnam	Kazak	Marrue	Ruanda	Chile	India	Israel	Zimbab	Porcentaje de cubrimiento
Sb	87														11								98%
B		23										38	12						9				82%
Ba	44	7															10			18			79%
Co	5		64				5																74%
F	64									16				5									85%
Ga	85			7												5							97%
In	57				15	10																	82%
Mg	87	5																			3		95%
Pd							7	46			36												89%
P	44	13															13						70%
Pt								16			71											6	93%
Rh								10			83											4	97%
Ta			19						14									31					64%
<b>Totales</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	



**Tabla 8.** Indicadores de gobernanza de los países involucrados en la comercialización de elementos críticos para tecnología LED

#	País	Voice and Accountability	Political Stability	Government Effectiveness	Regulatory Quality	Rule of Law	Control of Corruption	Entre -2,5 y 0	Promedio
1	Argentina	0,54	0,22	0,18	-0,47	-0,35	-0,31	3	-0,03
2	Brasil	0,47	-0,45	-0,18	-0,21	-0,08	-0,44	5	-0,15
3	Canadá	1,38	1,24	1,80	1,74	1,84	1,98	0	1,66
4	Chile	1,00	0,51	1,02	1,37	1,13	1,11	0	1,02
5	China	-1,62	-0,52	0,36	-0,26	-0,22	-0,25	5	-0,42
6	Corea del sur	0,63	0,17	1,07	1,11	1,14	0,37	0	0,75
7	Estados Unidos	1,10	0,35	1,48	1,50	1,67	1,33	0	1,24
8	Alemania	1,33	0,76	1,74	1,82	1,61	1,83	0	1,51
9	India	0,41	-0,95	0,10	-0,31	-0,07	-0,30	4	-0,19
10	Israel	0,77	-0,83	1,35	1,31	1,02	1,06	1	0,78
11	Japón	1,00	1,01	1,83	1,43	1,38	1,51	0	1,36
12	Kazakhstan	-1,29	0,04	-0,06	-0,10	-0,42	-0,80	5	-0,44
13	México	-0,09	-0,77	0,14	0,29	-0,50	-0,77	4	-0,28
14	Marruecos	-0,65	-0,29	-0,10	-0,23	-0,14	-0,15	6	-0,26
15	Mongolia	0,45	0,82	-0,11	-0,08	-0,22	-0,50	4	0,06
16	Rep. Dem. Congo	-1,39	-2,20	-1,51	-1,32	-1,61	-1,33	6	-1,56
17	Rusia	-1,21	-0,89	-0,22	-0,42	-0,80	-0,86	6	-0,73
18	Ruanda	-1,21	-0,05	0,11	0,11	0,07	0,69	2	-0,05
19	Sudáfrica	0,64	-0,13	0,27	0,21	0,07	0,05	1	0,19
20	Turquía	-0,63	-2,00	0,05	0,20	-0,16	-0,20	4	-0,46
21	Vietnam	-1,41	0,17	0,01	-0,45	0,05	-0,40	3	-0,34
22	Zimbabue	-1,11	-0,61	-1,16	-1,72	-1,32	-1,28	6	-1,20
								<b>Promedio</b>	<b>0,11</b>

Al final de la tabla de indicadores de gobernanza, también se encuentra el promedio de los indicadores. El conteo de los indicadores débiles se grafican vs el promedio cuantitativo obtenido, la interpretación del resultado es que los países con más indicadores débiles y con menor promedio son los que mayor riesgo de vulnerabilidad tendrán y se ubicaran en la esquina inferior derecha. La construcción de tecnología LED encuentra mayor vulnerabilidad por los países República demócrata del Congo, Zimbabue y Rusia, como se puede ver en la Figura 10.

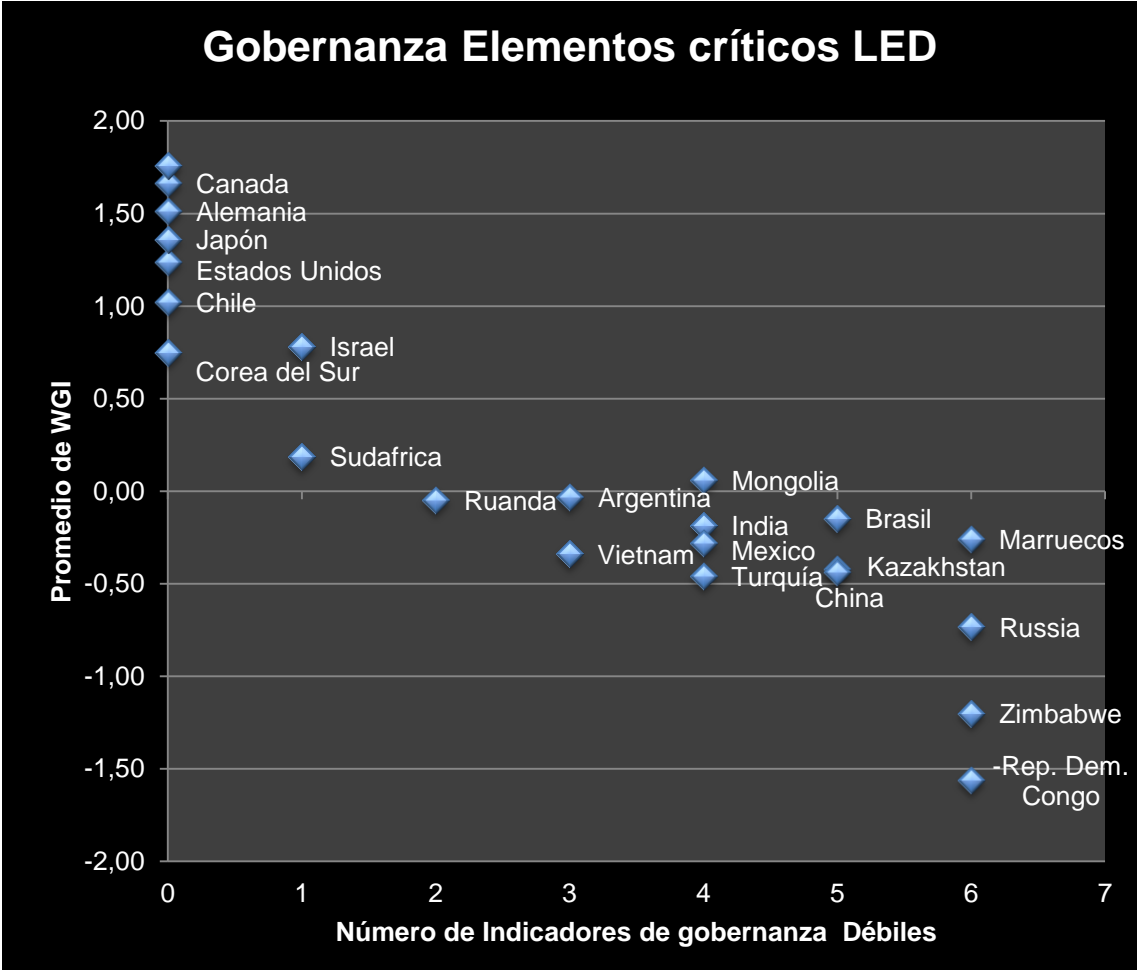


Figura 10. Gobernanza Elementos críticos LED

El WGI resulta específico cuando se multiplica el promedio de los indicadores con el porcentaje de existencia del elemento crítico en cada país. Se estableció el WGI específico para cada elemento y se resaltó con color el valor mayor entre países para indicar el país con mayor vulnerabilidad. Los cálculos por elemento, se toman todos como una misma tabla (Tabla 9). En ella se puede observar que los países más vulnerables para la tecnología LED son China, Rusia y República Demócrata del Congo.

**Tabla 9.** Determinación de WGI específico por elemento para LED

<b>Elemento crítico LED</b>	China	Vietnam
Sb	87%	11%
WGI	-0,37	-0,04

<b>Elemento crítico LED</b>	EEUU	Turquía	Argentina	Chile
B	23%	38%	12%	9%
WGI	0,28	-0,17	0,00	0,09

<b>Elemento crítico LED</b>	China	EEUU	Marruecos	India
Ba	44%	7%	10%	18%
WGI	-0,18	0,09	-0,03	-0,03

<b>Elemento crítico LED</b>	China	Rep. Dem. Congo	Canadá
Co	5%	64%	5%
WGI	-0,02	-1,00	0,08

<b>Elemento crítico LED</b>	China	México	Mongolia
F	64%	16%	5%
WGI	-0,27	-0,05	0,00

<b>Elemento crítico LED</b>	China	Alemania	Kazakhstan
Ga	85%	7%	5%
WGI	-0,36	0,11	-0,02

<b>Elemento crítico LED</b>	China	Corea del Sur	Japón
In	57%	15%	10%
WGI	-0,24	0,11	0,14

<b>Elemento crítico LED</b>	China	EEUU	Israel
Mg	87%	5%	3%
WGI	-0,37	0,06	0,02

<b>Elemento crítico LED</b>	Canadá	Rusia	Sudáfrica
Pd	7%	46%	36%
WGI	0,12	-0,34	0,07

<b>Elemento crítico LED</b>	China	EEUU	Marruecos
P	44%	13%	13%
WGI	-0,18	0,16	-0,03

<b>Elemento crítico LED</b>	Rusia	Sudáfrica	Zimbabue
Pt	16%	71%	6%
WGI	-0,12	0,13	-0,07

<b>Elemento crítico LED</b>	Rusia	Sudáfrica	Zimbabue
Rh	10%	83%	4%
WGI	-0,07	0,15	-0,05

<b>Elemento crítico LED</b>	Rep. Dem. Congo	Brasil	Ruanda
Ta	19%	14%	31%
WGI	-0,30	-0,02	-0,01

### 3.1.1.6 Índice de dependencia de importaciones por la UE para elementos críticos LED

Debido a que los materiales necesarios para las tecnologías no se encuentran todos en los territorios de la Unión Europea, es necesario realizar las importaciones correspondientes y por ende el índice de dependencia de importaciones. Este índice tiene en cuenta: el suministro mundial y las fuentes de suministro reales de la UE, y se calcula así:  $\text{Importaciones a la Unión Europea netas} / (\text{importaciones a la Unión Europea Netas} + \text{producción interna de la Unión Europea})^{37}$ .

**Tabla 10.** Índice de dependencia de las importaciones para elementos críticos LED

<b>Elementos críticos LED</b>	<b>Índice de dependencia de las importaciones (%)</b>
Sb	100
B	100
Ba	80
Co	32
F	70
Ga	34
In	0
Mg	100
Pd	99,6
P	88
Pt	99,6
Rh	99,6
Ta	100
<b>Promedio</b>	<b>77,14</b>

<sup>37</sup> Comunicado de la Comisión Europea, 2017

### 3.1.1.7 Índice de aporte del reciclado al final de vida útil para elementos LED

**Tabla 11.** Índice de reciclado de los elementos críticos para tecnología LED

Elementos críticos LED	Índice de aporte del reciclado al final de su vida útil
Sb	28
B	0
Ba	1
Co	0
F	1
Ga	0
In	0
Mg	9
Pd	14
P	17
Pt	14
Rh	14
Ta	1
<b>Promedio</b>	<b>7,62</b>

Este índice mide el índice de reciclado de elementos viejos, respecto a la demanda de la Unión Europea de una determinada materia prima, siendo la demanda igual al suministro de la UE de materias primas y secundarias<sup>38</sup>

### 3.1.1.8 Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología LED-2017

Siguiendo los parámetros de consideración para elementos críticos:  $SR \geq 1$  e  $EI \geq 2,8$  los elementos críticos para tecnología LED los podemos ver en la siguiente tabla. Estos parámetros son adimensionales según Metodología de la Unión Europea.

**Tabla 12.** Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología LED-2017

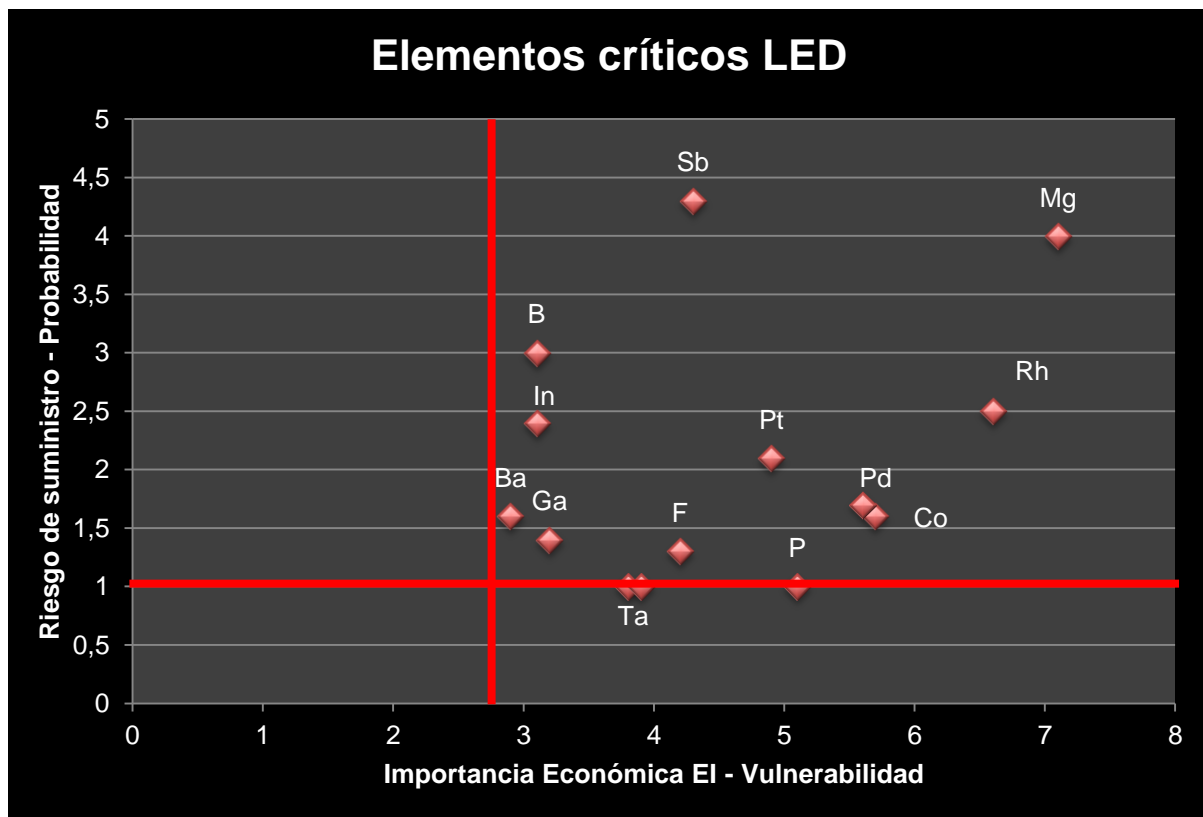
Nº	Elemento crítico	SR - Probabilidad	EI - Vulnerabilidad
1	Sb	4,3	4,3
2	B	3	3,1

<sup>38</sup> Comunicado de la Comisión Europea, 2017

3	Ba	1,6	2,9
4	Co	1,6	5,7
5	Mg	4	7,1
6	F	1,3	4,2
7	Ga	1,4	3,2
8	In	2,4	3,1
9	Pd	1,7	5,6
10	Pt	2,1	4,9
11	P	1	5,1
12	Rh	2,5	6,6
13	Ta	1	3,9

Estos datos específicos para la tecnología LED, se figuraron a semejanza de la matriz de criticidad general, en una matriz de riesgos específica, en donde el riesgo de suministro se encuentra en el eje vertical y representa la probabilidad y la importancia económica se grafica en el eje horizontal y representa la vulnerabilidad.

La matriz de la Figura 11, refleja que los elementos más vulnerables para la tecnología LED es el Magnesio y el Rodio.



**Figura 11.** Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología LED-2017

### 3.1.1.9 Índice de sustitución para elementos críticos LED

El índice de sustitución mide la dificultad para sustituir el material, calculada y ponderada para todas las aplicaciones y se calcula por separado para los parámetros de importancia económica y para los riesgos de suministro. Los valores se sitúan entre 0 y 1, donde 1 indica la menor sustitución<sup>39</sup>.

**Tabla 13.** Índice de sustitución para elementos críticos LED

Nº	Elemento crítico	Índice de sustitución	Dato
1	Sb	0,91/0,93	0,98
2	B	1,0/1,0	1,00
3	Ba	0,93/0,94	0,99
4	Co	1,0/1,0	1,00
5	Mg	0,91/0,91	1,00
6	F	0,91/0,91	1,00
7	Ga	0,95/0,96	0,99
8	In	0,94/0,97	0,97
9	Pd	0,93/0,98	0,95
10	Pt	0,93/0,98	0,95
11	P	0,91/0,91	1,00
12	Rh	0,93/0,98	0,95
13	Ta	0,94/0,95	0,99

Los datos arrojaron que los elementos con menor sustitución para la tecnología LED son: El Boro, Cobalto, Magnesio, flúor y Fosforo. Lo que indica que  $5/13 \cdot 100 = 38,46\%$  de los elementos tienen mínima sustitución.

## 3.1.2 OLED

### 3.1.2.1 Conteo de materiales y elementos críticos y semi-críticos OLED

A partir de la lista de materiales (Anexo 5) se realizó el conteo de materiales y elementos para la construcción de la tecnología OLED. En los Anexos 6 y 9 se puede ver la lista de los materiales y elementos críticos y semicríticos para OLED. Numéricamente tenemos:

<sup>39</sup> Comisión Europea (2017). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones, relativa a la lista de d e2017 de materias primas fundamentales para la UE. Bruselas.

**Tabla 14.** Conteo de materiales y elementos críticos y semi-críticos OLED

Tecnología	Materiales		Elementos	
	Críticos	Semicríticos	Críticos	Semicríticos
OLED	16	1	7	1

### 3.1.2.2 Cantidad de producción de elementos críticos a nivel mundial OLED

**Tabla 15.** Orden ascendente de cantidad de producción de elementos críticos a nivel mundial OLED

Elemento crítico	Cantidad de materiales que lo contienen	Producción elemento (Ton/año)
Ir	4	7,10E+00
Ru	1	2,77E+01
Tb	1	4,07E+02
Eu	3	4,07E+02
Co	1	1,35E+05
F	6	6,62E+06
P	3	2,18E+14
<b>Total</b>	<b>19</b>	

Para la tecnología OLED, el elemento limitante por disponibilidad de producción mundial es el Iridio.

### 3.1.2.3 Conteo de repetitividad de los elementos críticos para OLED en la lista de la UE

**Tabla 16.** Años de repetitividad de los elementos críticos OLED en la lista de la UE

Elemento crítico	Año			Crítico Solo en 2017	Se repite en 2 años	Se repite en 3 años
	2011	2014	2017			
P	no	no	si	P		
F	si	si	si			F
Co	si	si	si			Co
Ir	si	si	si			Ir
Tb	si	si	si			Tb
Eu	si	si	si			Eu
Ru	si	si	si			Ru
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>



**Tabla 17.** Porcentaje de repetitividad de elementos en los diferentes años en la lista CRM de la UE

Elemento crítico	Total de elementos	2011	2014	2017	Empezó a ser crítico en 2017	Se repite en 2 años	Se repite en 3 años
<b>Total</b>	7	6	6	7	1	0	6
<b>Porcentaje</b>	100	85,71	85,71	100	14,29	0,00	85,71

### 3.1.2.4 Años demanda y suministro para elementos críticos OLED

**Tabla 18.** Porcentaje de elementos críticos OLED con incertidumbre en demanda y suministro a 5, 10 y 20 años

Elemento	Demanda			Suministro			
	Años	5	10	20	5	10	20
P		+	+	+	+	+	0
F		?	?	?	?	?	?
Co		+	+	+	+	+	+
Ir		+	+	?	+	+	?
Tb		-	?	?	-	?	?
Eu		-	?	?	-	?	?
Ru		+	+	?	+	+	?
<b>Elementos disponibles</b>		4	4	2	4	4	1
<b>Elementos con incertidumbre</b>		3	3	5	3	3	6
<b>Porcentaje elementos con incertidumbre</b>		42,86	42,86	71,43	42,86	42,86	85,71

### 3.1.2.5 Gobernanza de los elementos críticos OLED

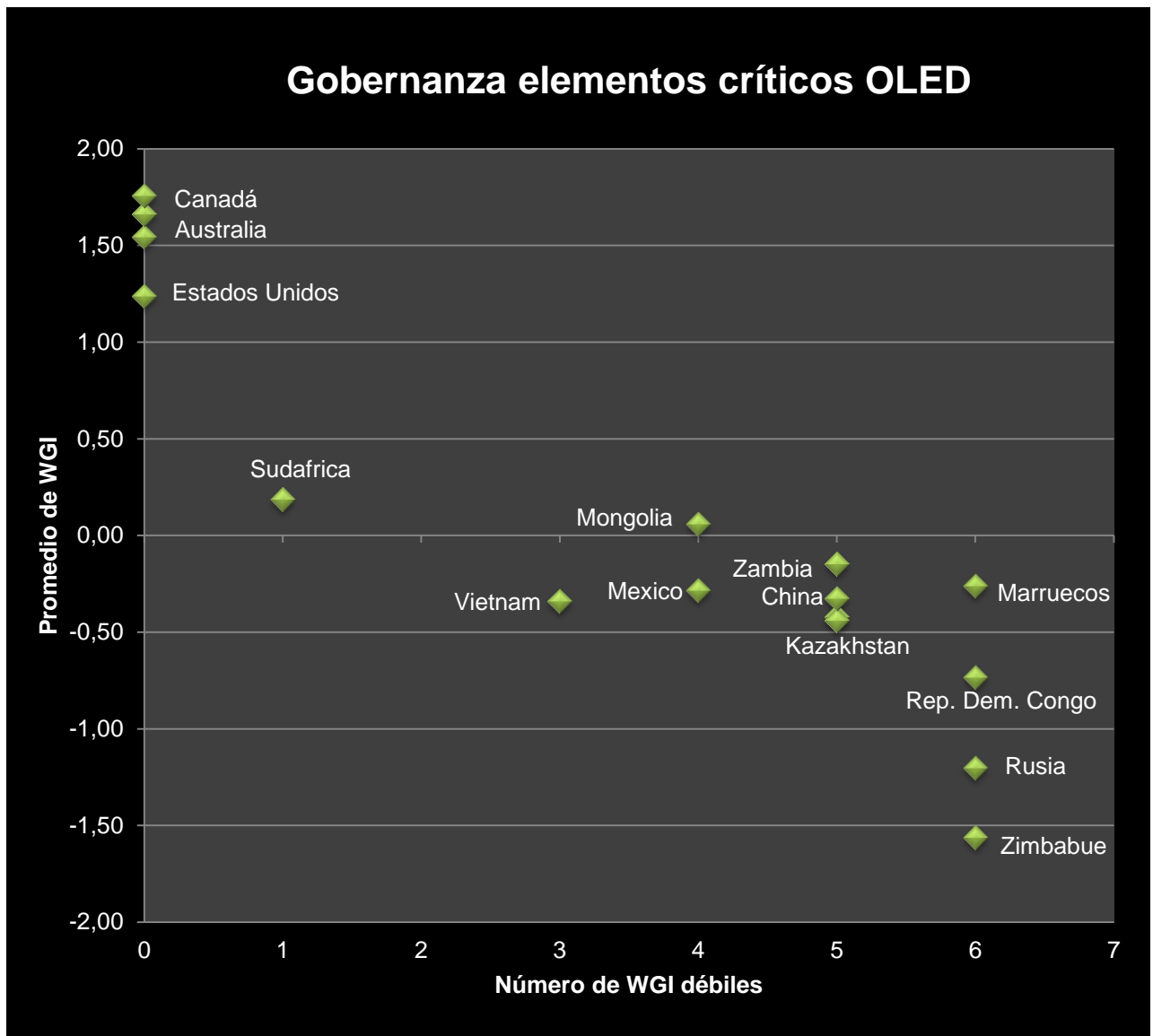
Para determinar la gobernanza de los elementos críticos OLED, se extrajo de las *Factsheets* -para la lista CRM 2017-, el porcentaje de reserva en países con elementos críticos (Tabla 19), se determinaron los Indicadores de gobernanza de los países involucrados en la comercialización de elementos críticos para la tecnología OLED (Tabla 20), se graficaron (Figura 12) y se determinó el WGI específico por elemento para materiales OLED (Tabla 21).

**Tabla 19.** Porcentaje de reserva en Países con elementos críticos OLED (%)

<b>Elementos críticos para los OLED</b>	China	EEUU	Rusia	Sud-África	Zimbabwe	Marruecos	México	Mongolia	Rep. Dem. Congo	Canadá	Australia	Zambia	<b>Porcentaje de cubrimiento</b>
P	44	13				13							70
F	64						16	5					85
Co	5								64	5	4	4	82
Ir				85	9								94
Tb	95,1	1,7	1,3										98
Eu	95,1	1,7	1,3										98
Ru			2	93	3								98
<b>Elementos por País</b>	5	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	

**Tabla 20.** Indicadores de gobernanza de los países involucrados en la comercialización de elementos críticos para tecnología OLED

Conteo	Indicadores 2016	<i>Voice and Accountability</i>	<i>Political Stability and Absence of Violence/Terrorism</i>	<i>Government Effectiveness</i>	<i>Regulatory Quality</i>	<i>Rule of Law</i>	<i>Control of Corruption</i>	WGI entre -2,5 y 0	Promedio
1	Australia	1,30	0,96	1,58	1,90	1,75	1,77	0	1,54
2	Canada	1,38	1,24	1,80	1,74	1,84	1,98	0	1,66
3	China	-1,62	-0,52	0,36	-0,26	-0,22	-0,25	5	-0,42
4	Estados Unidos	1,10	0,35	1,48	1,50	1,67	1,33	0	1,24
5	Kazakhstan	-1,29	0,04	-0,06	-0,10	-0,42	-0,80	5	-0,44
6	Marruecos	-0,65	-0,29	-0,10	-0,23	-0,14	-0,15	6	-0,26
7	Mexico	-0,09	-0,77	0,14	0,29	-0,50	-0,77	4	-0,28
8	Mongolia	0,45	0,82	-0,11	-0,08	-0,22	-0,50	4	0,06
9	Rep. Dem. Congo	-1,39	-2,20	-1,51	-1,32	-1,61	-1,33	6	-1,56
10	Rusia	-1,21	-0,89	-0,22	-0,42	-0,80	-0,86	6	-0,73
11	Sudafrica	0,64	-0,13	0,27	0,21	0,07	0,05	1	0,19
12	Vietnam	-1,41	0,17	0,01	-0,45	0,05	-0,40	3	-0,34
13	Zambia	-0,30	0,18	-0,66	-0,48	-0,30	-0,40	5	-0,33
14	Zimbabwe	-1,11	-0,61	-1,16	-1,72	-1,32	-1,28	6	-1,20
<b>Promedio</b>									-0,06



**Figura 12.** Gobernanza Elementos críticos OLED

Si por WGI general se concluye que los países más vulnerables para comercialización segura son Zimbabwe, Rusia y Republica Demócrata del Congo, al aplicar WGI multiplicando por la cantidad de elemento contenido en el país el WGI específico cambia la vulnerabilidad a China y Zimbabwe para la Tecnología OLED, como se puede ver en la Tabla 21.

**Tabla 21.** Determinación de WGI específico por elemento para OLED

Elemento	China	EEUU	Marruecos
P	44	13	13
WGI	-0,18	0,16	-3,38

Elemento	China	México	Mongolia
F	64	16	5
WGI	-0,27	-0,05	0,00

Elemento	China	Rep. Dem. Congo	Canadá	Australia	Zambia
Co	5	64	5	4	4
WGI	-0,02	-1,00	0,08	0,06	-0,01

Elemento	Sudáfrica	Zimbabue
Ir	85	9
WGI	0,16	-0,11

Elemento	China	EEUU	Rusia
Tb	95,1	1,7	1,3
WGI	-0,40	0,02	-0,01

Elemento	China	EEUU	Rusia
Eu	95,1	1,7	1,3
WGI	-0,40	0,02	-0,01

Elemento	Rusia	Sudáfrica	Zimbabue
Ru	2	93	3
WGI	-0,01	0,17	-0,04

### 3.1.2.6 Índice de dependencia de importaciones por la UE para elementos críticos OLED

**Tabla 22.** Índice de dependencia de las importaciones para elementos críticos OLED

Elementos críticos para los OLED	Índice de dependencia de las importaciones (%)
P	88
F	70
Co	32
Ir	99,6
Tb	100
Eu	100
Ru	99,6
<b>Promedio</b>	<b>84,17</b>

### 3.1.2.7 Índice del aporte del reciclado al final de la vida Útil para elementos OLED

**Tabla 23.** Índice del aporte del reciclado al final de la vida Útil para elementos OLED

Elemento crítico	Índice de aporte del reciclado al final de su vida útil
P	17
F	1
Co	0
Ir	14
Tb	8
Eu	3
Ru	14
<b>Promedio</b>	<b>8,14</b>

### 3.1.2.8 Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología LED-2017

**Tabla 24.** Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología OLED-2017

Nº	Elemento crítico	SR Probabilidad	EI Vulnerabilidad
1	P	1	5,1
2	F	1,3	4,2
3	Co	1,6	5,7
4	Ir	2,8	4,3
5	Tb	4,8	3,9
6	Eu	3,4	3,7
7	Ru	3,4	3,5

La probabilidad y la vulnerabilidad de los elementos son datos que vienen dados del estudio de CRMs y son adimensionales.

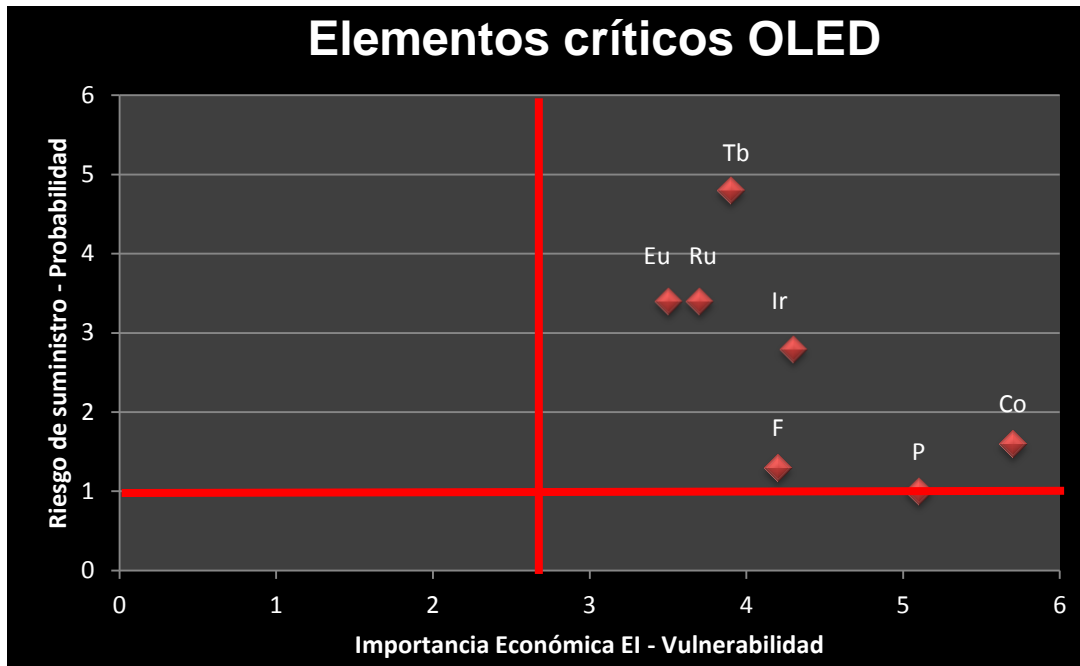


Figura 13. Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología OLED-2017

Como se puede observar en la Figura 13, los elementos más vulnerables para la tecnología OLED son el Cobalto y el Fosforo y el Terbio con mayor riesgo de suministro.

### 3.1.2.9 Índice de sustitución para Tecnología OLED

Tabla 25. Índice de sustitución para Tecnología OLED

Nº	Elemento crítico	Índice de sustitución	Dato
1	P	0,91/0,91	1,00
2	F	0,98/0,97	1,01
3	Co	1,0/1,0	1,00
4	Ir	0,93/0,98	0,95
5	Tb	0,96/0,89	1,08
6	Eu	0,90/0,93	0,97
7	Ru	0,93/0,98	0,95

Tal como se muestra en la Tabla, 4 de los 7 elementos críticos son iguales o superiores a 1, lo que indica que el 57,14% de los elementos tienen una mínima sustitución.

### 3.1.3 QDLED

#### 3.1.3.1 Conteo de materiales y elementos críticos y semi-críticos QDLED

A partir del inventario de materiales necesarios para la construcción de tecnología OLED (Anexo 7) se realiza el conteo de materiales y elementos críticos y semicríticos para QDLED (Anexo 8 y 9). Numéricamente tenemos:

**Tabla 26.** Conteo de materiales y elementos críticos y semi-críticos QDLED

Tecnología	Materiales		Elementos	
	Críticos	Semicríticos	Críticos	Semicríticos
QDLED	6	8	5	7

#### 3.1.3.2 Cantidad de producción de elementos críticos a nivel mundial QDLED

Tal como se puede observar en la Tabla 27, el elemento limitante por producción para QDLED es el Paladio (Pd).

**Tabla 27.** Orden ascendente de cantidad de producción de elementos críticos a nivel mundial QDLED

Elemento crítico	Cantidad de materiales que lo contienen	Producción elemento (Ton/año)
Pd	1	2,09E+02
In	1	6,89E+02
B	1	1,00E+06
F	3	6,62E+06
P	1	2,18E+14
<b>Total</b>	<b>7</b>	



### 3.1.3.3 Conteo de repetitividad de los elementos críticos QDLED en la lista de la UE

**Tabla 28.** Años de repetitividad de los elementos críticos QDLED en la lista de la UE

Elemento crítico	Material crítico para la UE en 2011	Material crítico para la UE en 2014	Material crítico para la UE en 2017	Crítico solo en 2017	Se repite en 2 años	Se repite en 3 años
In	si	si	si			In
B	no	si	si		B	
F	si	si	si			F
Pd	si	si	si			Pd
P	no	si	si		P	
<b>Total de elementos</b>	3	5	5	0	2	3

**Tabla 29.** Porcentaje de repetitividad de elementos en los diferentes años en la lista de CRM de la UE

Elemento crítico	Total de elementos	2011	2014	2017	Empezó a ser crítico en 2017	Se repite en 2 años	Se repite en 3 años
<b>Total</b>	5	3	5	5	0	2	3
<b>Porcentaje</b>	100	60,00	100,00	100,00	0,00	40,00	60,00

### 3.1.3.4 Años demanda y suministro para elementos críticos QDLED

**Tabla 30.** Porcentaje de elementos críticos QDLED con incertidumbre en demanda y suministro a 5, 10 y 20 años

Elemento	Demanda			Suministro		
	5	10	20	5	10	20
<b>Años</b>						
In	+	+	?	+	+	?
B	+	+	?	+	+	?
F	?	?	?	?	?	?
Pd	+	+	?	+	+	?
P	+	+	++	+	+	0
<b>Elementos disponibles</b>	4	4	1	4	4	0
<b>Elementos con incertidumbre</b>	1	1	4	1	1	5
<b>Porcentaje elementos con incertidumbre</b>	20,0	20,0	80,0	20,0	20,0	100,0

### 3.1.3.5 Gobernanza de los elementos críticos QDLED

Los datos de gobernanza para la tecnología QDLED se exponen en la Tabla 31, 32 y 33. Y se grafican los WGI de los elementos críticos en la Figura 14.

**Tabla 31.** Porcentaje de reserva en Países con elementos críticos QDLED (%)

Elementos críticos para los QD-LED	China	EEUU	Corea del sur	Japón	Canadá	Bélgica	Turquía	Argentina	México	Mongolia	Marruecos	Rusia	Sudáfrica	Porcentaje de cubrimiento
In	57		15	10	7	6								95%
B		23					38	12						73%
F	64								16	5				85%
P	44	13									13			70%
Pd					7							46	36	89%
<b>Elementos por País</b>	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	

**Tabla 32.** Indicadores de gobernanza de los países involucrados en la comercialización de elementos críticos para tecnología QDLED

#	Indicadores 2016	<i>Voice and Accountability</i>	<i>Political Stability and Absence of Violence/Terrorism</i>	<i>Government Effectiveness</i>	<i>Regulatory Quality</i>	<i>Rule of Law</i>	<i>Control of Corruption</i>	<i>WGI entre -2,5 y 0</i>	<i>Promedio</i>
1	Argentina	0,54	0,22	0,18	-0,47	-0,35	-0,31	3	-0,03
2	Bélgica	1,35	0,48	1,33	1,34	1,40	1,60	0	1,25
3	Canadá	1,38	1,24	1,80	1,74	1,84	1,98	0	1,66
4	China	-1,62	-0,52	0,36	-0,26	-0,22	-0,25	5	-0,42
5	Corea del Sur	0,63	0,17	1,07	1,11	1,14	0,37	0	0,75
6	Estados Unidos	1,10	0,35	1,48	1,50	1,67	1,33	0	1,24
7	Japón	1,00	1,01	1,83	1,43	1,38	1,51	0	1,36
8	Marruecos	-0,65	-0,29	-0,10	-0,23	-0,14	-0,15	6	-0,26
9	México	-0,09	-0,77	0,14	0,29	-0,50	-0,77	4	-0,28
10	Mongolia	0,45	0,82	-0,11	-0,08	-0,22	-0,50	4	0,06
11	Rusia	-1,21	-0,89	-0,22	-0,42	-0,80	-0,86	6	-0,73
12	Sudáfrica	0,64	-0,13	0,27	0,21	0,07	0,05	1	0,19
13	Turquía	-0,63	-2,00	0,05	0,20	-0,16	-0,20	4	-0,46
								Promedio	0,33

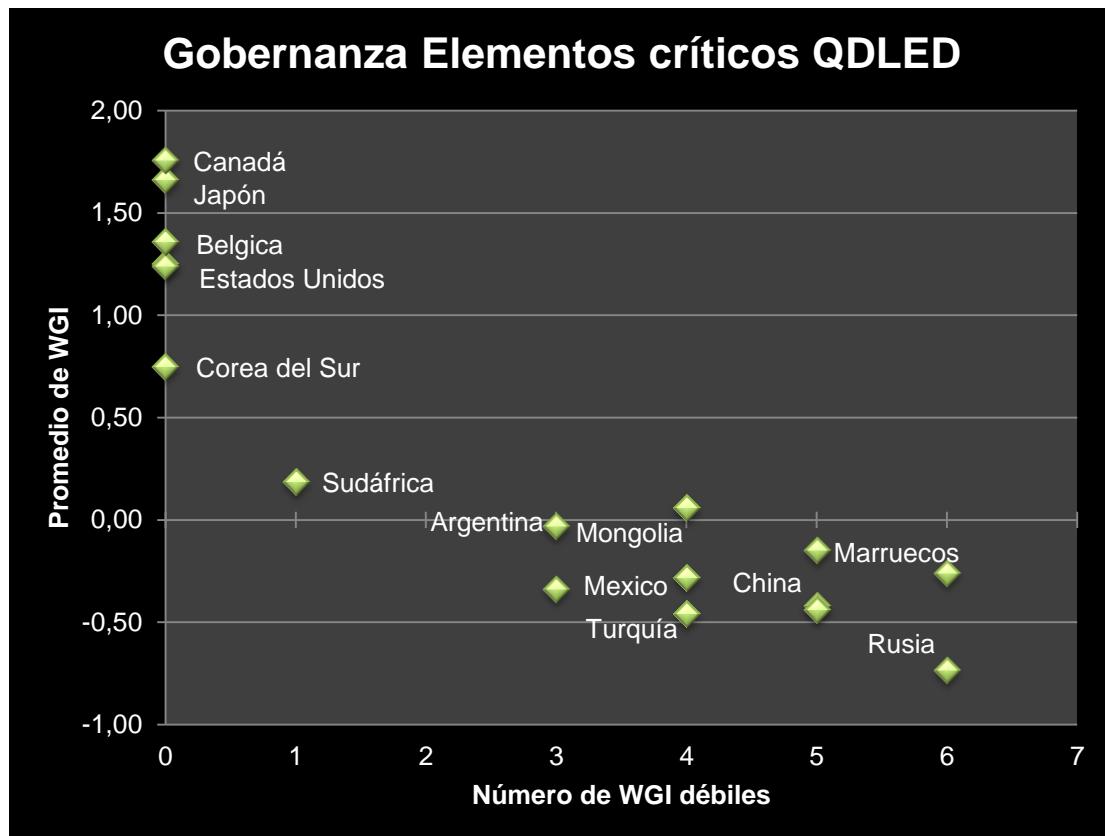


Figura 14. Gobernanza Elementos críticos QDLED

Los países con mayor vulnerabilidad con los Indicadores WGI general son Rusia, China y Marruecos sin embargo cuando se calcula el WGI específicos para materiales requeridos por la tecnología QDLED los países más vulnerables para una comercialización segura son China, Rusia y Turquía, tal como se puede ver en la Tabla 33.

Tabla 33. Determinación de WGI específico por elemento para QDLED

<b>Indio</b>	China	Corea del Sur	Japón	Canadá	Bélgica
In	57%	15%	10%	7%	6%
<b>WGI</b>	-0,24	0,11	0,14	0,12	0,08
<b>Boro</b>	EEUU	Turquía	Argentina		
B	23%	38%	12%		
<b>WGI</b>	0,28	-0,17	0,00		
<b>Flúor</b>	China	México	Mongolia		
F	64%	16%	5%		
<b>WGI</b>	-0,27	-0,05	0,00		
<b>Fosforo</b>	China	EEUU	Marruecos		
P	44%	13%	13%		
<b>WGI</b>	-0,18	0,16	-0,03		
<b>Paladio</b>	Canadá	Rusia	Sudáfrica		
Pd	7%	46%	36%		
<b>WGI</b>	0,12	-0,34	0,07		

3.1.3.6 Índice de dependencia de las importaciones por la UE para elementos críticos QDLED

**Tabla 34.** Índice de dependencia de las importaciones para elementos críticos LED

Elementos críticos para los QD	Índice de dependencia de las importaciones (%)
In	0
B	100
F	70
P	88
Pd	99,6
<b>Promedio</b>	<b>71,52</b>

3.1.3.7 Índice de aporte del reciclado al final de la vida útil para elementos QDLED

**Tabla 35.** Índice de aporte del reciclado al final de la vida útil para elementos QDLED

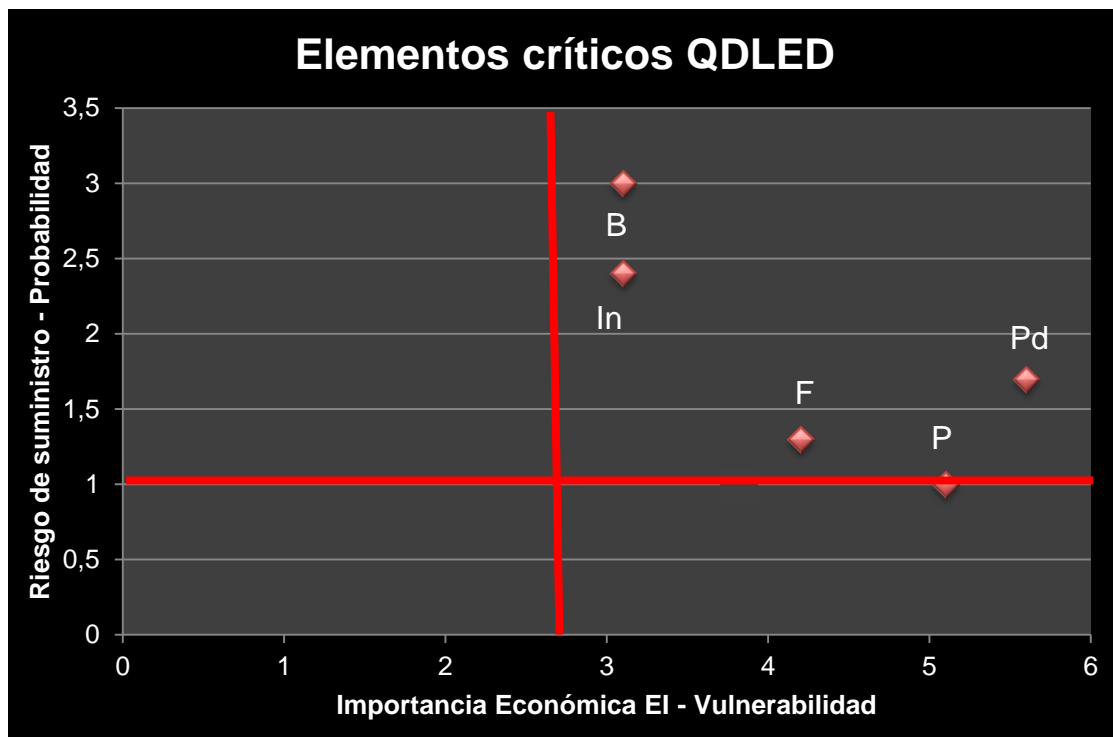
Elemento químico	Índice de aporte del reciclado al final de su vida útil (%)
In	0
B	0
F	1
P	17
Pd	14
<b>Promedio</b>	<b>6,40</b>

3.1.3.8 Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología QDLED-2017

La probabilidad y la vulnerabilidad de los elementos críticos para la tecnología QDLED se determinó como en las tecnologías anteriores a partir de los parámetros de criticidad de riesgo de suministro e importancia económica dados por el estudio de Unión Europea para CRM. Estos parámetros se presentan en la Tabla 36 y se grafican en la Figura 15.

**Tabla 36.** Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología QDLED-2017

#	Elemento crítico	SR- Probabilidad	EI- Vulnerabilidad
1	In	2,4	3,1
2	B	3	3,1
3	F	1,3	4,2
4	Pd	1,7	5,6
5	P	1	5,1



**Figura 15.** Probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos para la Tecnología QDLED-2017

### 3.1.3.9 Índice de sustitución QDLED

En la tabla se muestra que 3 de los 5 elementos críticos tiene un índice de sustitución mayor e igual a 1. Por lo que el 60% de los elementos se consideran de mínima sustitución. En la Tabla 37 se muestra el elemento crítico hallado para esta tecnología, la división de índice de sustitución de los dos parámetros de criticidad y el resultado de la división que es el valor a categorizar como índice de sustitución mínima.

**Tabla 37.** Índice de sustitución para QDLED

#	Elemento crítico	Índice de sustitución	Dato
1	In	0,94/0,97	0,97
2	B	1,0/1,0	1,00
3	F	0,98/0,97	1,01
4	Pd	0,93/0,98	0,95
5	P	0,91/0,91	1,00

## 3.2 Resultado 2 – CRITICIDAD

Se compararon inventarios de las tecnologías LED y QDLED con unidad Funcional de Kg/m<sup>2</sup>, se utilizaron gráficas y semaforizaciones para los resultados.

### 3.2.1 LED

#### 3.2.1.1 Peso de los elementos críticos LED

Lo primero se expresaron los pesos de los materiales en Kg/m<sup>2</sup> (Anexo 3). Posteriormente, se extraen los pesos moleculares de los elementos críticos contenidos en los materiales que los contienen (Anexo 4). Al realizar el procedimiento anterior con todos los elementos críticos se obtiene los gramos necesarios por metro cuadrado (g/m<sup>2</sup>) y estos se transforman a Kg/m<sup>2</sup>, con lo que se obtiene:

**Tabla 38.** Peso de los elementos críticos LED en (Kg/m<sup>2</sup>)

CANTIDADES DE CRITICOS (Kg/m <sup>2</sup> )		
Símbolo	Grupo crítico	LED
Sb		3,48E-08
B		2,55E-05
Ba		6,09E-01
Co		1,48E-05
F		4,21E+01
Ga		1,03E-11
In		3,33E-10
Mg		3,41E-01
Pd	PGMs	4,61E-11
P		6,38E-02
Pt	PGMs	2,86E-11



Rh	PGMs	1,84E-12
Ta		9,51E-05
<b>TOTALES</b>		13
<b>CANTIDADES TOTALES (Kg/m<sup>2</sup>)</b>		<b>4,31E+01</b>

### 3.2.1.2 Peso por capa LED

Una vez expresadas las cantidades en (Kg/m<sup>2</sup>) se separan según el peso por capa. Esta característica es importante porque uno de los objetivos de la tecnología es el aligeramiento y menores requerimientos de elementos para los dispositivos opto electrónicos. Además se puede describir cuál de las capas se ve más afectada por la criticidad de elementos químicos.

**Tabla 39.** Peso por capa LED

<b>Nombre de la capa LED</b>	<b>Peso por capa (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
Copper, primary, at refinery	2,38E+01
Epoxy resin, liquid, at plant	6,14E-04
Funnel glass, CRT screen, at plant and silicon, electronic grade, at plant	2,33E+02
Lead, at regional storage	1,90E+00
Molybdenum, at regional storage	3,67E+00
Nickel, 99.5%, at plant	7,75E+00
Pig iron, at plant	1,36E+02
Production efforts, diodes	1,30E+04
<b>Total peso</b>	<b>1,34E+04</b>

### 3.2.1.3 Criticidad de elementos para tecnología LED

La lista CRM determina el carácter fundamental de una materia prima, a partir de, dos parámetros principales: la importancia económica (EI) y el riesgo de suministro (SR). se determina crítico mayor a 1 en la SR que representa la probabilidad y mayor a 2,8 en EI que representa la vulnerabilidad, entonces, la criticidad se establece cuando el resultado es mayor a 2,8. Todos los elementos descritos como críticos es porque tienen este valor en sus resultados.

Pero si además estos valores se multiplican por la cantidad de elementos críticos necesarios para la construcción de la tecnología, hallaremos una criticidad específica para cada material y se puede establecer cuál es el material más crítico dentro de la tecnología LED. Para determinar la criticidad de los elementos se sigue la siguiente fórmula:

SR\*EI\* cantidad de elemento crítico expresado en la unidad funcional (Kg/m<sup>2</sup>)=  
 Criticidad específica<sup>40</sup>

**Tabla 40.** Criticidad específica para elementos críticos LED

Nº	Elemento crítico	Cantidad necesaria para Kg/m <sup>2</sup>	SR	EI	Criticidad Kg/m <sup>2</sup>
1	Sb	3,48E-08	4,3	4,3	6,44E-07
2	B	2,55E-05	3	3,1	2,38E-04
3	Ba	6,09E-01	1,6	2,9	2,83E+00
4	Co	1,48E-05	1,6	5,7	1,35E-04
5	F	4,21E+01	1,3	4,2	2,30E+02
6	Ga	1,03E-11	1,4	3,2	4,61E-11
7	In	3,33E-10	2,4	3,1	2,48E-09
8	Mg	3,41E-01	4	7,1	9,68E+00
9	Pd	4,61E-11	1,7	5,6	4,39E-10
10	P	6,38E-02	1	5,1	3,26E-01
11	Pt	2,86E-11	2,1	4,9	2,95E-10
12	Rh	1,84E-12	2,5	6,6	3,04E-11
13	Ta	9,51E-05	1	3,9	3,71E-04

Los valores de criticidad específica LED es un valor que toma las mismas unidades de la unidad funcional ya que SR y EI son adimensionales. Esta criticidad se grafica para demostrar de manera más evidente los elementos críticos con mayor vulnerabilidad y riesgo. En este tipo de tecnología se destaca el Flúor y el Magnesio, como se puede apreciar en la Figura 16.

<sup>40</sup> M, Frenzel (2017). Raw material 'criticality'—sense or nonsense?. Topical review • open access.

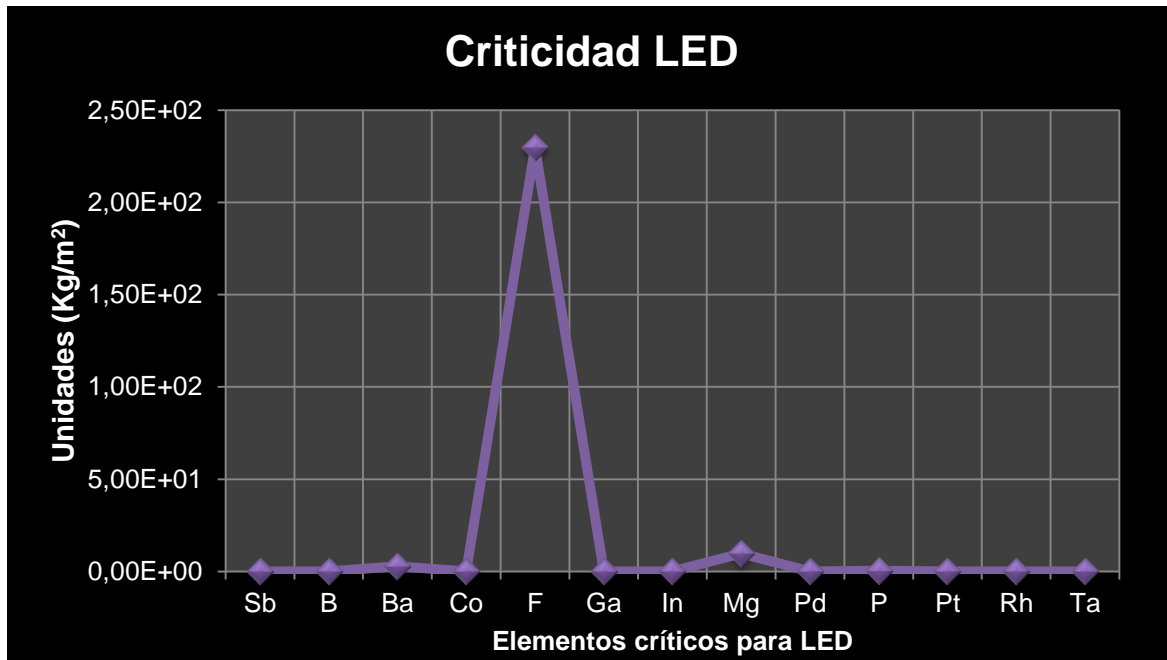


Figura 16. Criticidad de tecnología LED

### 3.2.1.4 Consumo de energía de elaboración LED

Los inventarios también proporcionaron el consumo de energía necesaria para la construcción de las tecnologías. Open LCA mostro que para construir 1m<sup>2</sup> de LED es necesario 1,71E+04 MJ/m<sup>2</sup>, de diferentes fuentes de energía, debido a que las investigaciones para levantar el inventario se realizaron en diferentes países.

Tabla 41. Consumo de energía de elaboración LED

Consumo	Cantidad (KWh)	Cantidad (MJ)	Energía para la producción de	MJ/m <sup>2</sup>
Energy, gross calorific value, in biomass	1,50E+01	5,37E+01	1,43E-02 m <sup>2</sup>	3,76E+03
Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest	1,11E-03	3,97E-03		2,78E-01
Energy, kinetic (in wind), converted	7,23E+00	2,58E+01		1,81E+03
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	4,62E+01	1,65E+02		1,16E+04
Energy, solar, converted	1,04E-01	3,70E-01		2,59E+01
			<b>TOTAL</b>	<b>1,71E+04</b>

### 3.2.2 QDLED

#### 3.2.2.1 Peso de los elementos críticos QDLED

Siguiendo el mismo procedimiento para LED, se determinaron los materiales a la unidad Funcional (Anexo 10) y luego se determinaron los pesos de los elementos críticos contenidos en los diferentes materiales requeridos para la tecnología (Anexo 11). Los resultados de las cantidades de elementos críticos para QDLED se expresan en la siguiente tabla.

**Tabla 42.** Peso de los elementos críticos QDLED

<b>CANTIDADES DE CRITICOS (Kg/m<sup>2</sup>)</b>		
<b>Símbolo</b>	<b>Grupo crítico</b>	<b>QDLED</b>
B		9,77E-05
F		2,73E-03
In		5,58E-01
Pd	PGMs	1,37E-07
P		1,60E-07
<b>TOTALES</b>		<b>5</b>
<b>CANTIDADES TOTALES (Kg/m<sup>2</sup>)</b>		<b>5,61E-01</b>

Las fórmulas de los materiales se extrajeron de varios laboratorios químicos y de algunos artículos científicos, como es el caso de ITO-glass para determinar el peso del Indio<sup>41</sup>.

#### 3.2.2.2 Peso por capa QDLED

**Tabla 43.** Peso por capa QDLED

<b>Nombre de la capa</b>	<b>Peso por capa (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
Materials for QD-LED anode (ITO Glass)	6,25E+00
Cathode	1,63E-01
Otras capas	1,31E+01
Monómero 1	4,84E-02
Monómero 2	3,38E-02
Polímero PME 124	2,00E-02
Precursor (PR04) CdS QDs	5,00E-03
<b>Total</b>	<b>1,96E+01</b>

<sup>41</sup> Lison D. 2009. Sintered indium-tin-oxide (ITO) particles: a new pneumotoxic entity. Toxicol Sci.

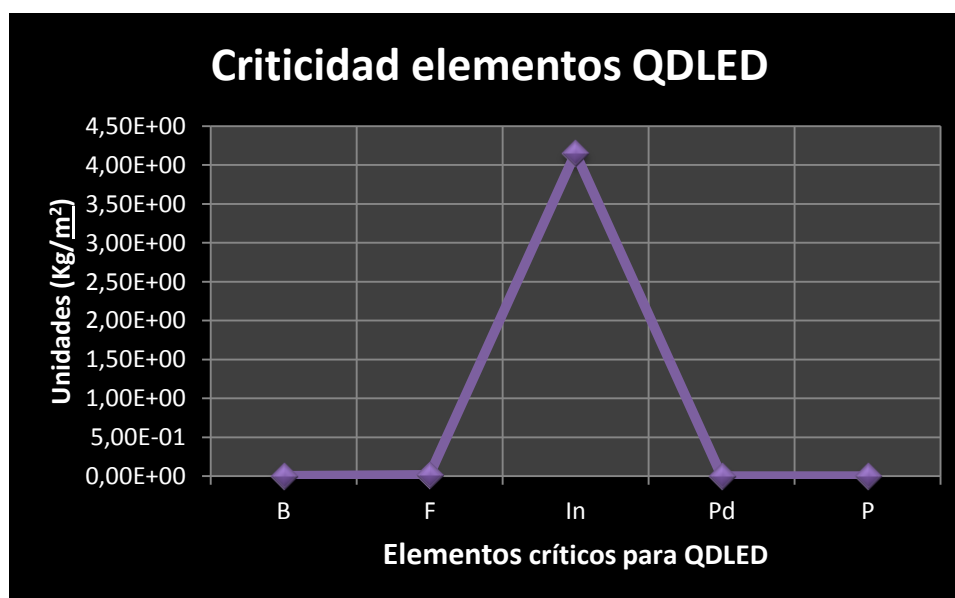
Como se puede observar en la Tabla 43, las capas más pesadas dentro de la tecnología QDLED son otras capas y el ánodo respectivamente. El peso total para la construcción de 1m<sup>2</sup> de esta tecnología es de 19,6 Kg.

### 3.2.2.3 Criticidad de elementos para tecnología QDLED

Los cálculos (Tabla 44) y figura (Figura 17) de la criticidad específica para tecnología QDLED, se determinan a partir del riesgo de suministro, la importancia económica y la cantidad de material necesario expresado en la Unidad funcional trabajada en esta investigación. Los resultados son los siguientes:

**Tabla 44.** Criticidad específica para elementos de tecnología QDLED

Nº	Elemento crítico	Cantidad necesaria para Kg/ m <sup>2</sup>	SR	EI	Criticidad Kg/m <sup>2</sup>
1	B	9,77E-05	3	3,1	9,09E-04
2	F	2,73E-03	1,3	4,2	1,49E-02
3	In	5,58E-01	2,4	3,1	4,15E+00
4	Pd	1,37E-07	1,7	5,6	1,31E-06
5	P	1,60E-07	1	5,1	8,15E-07
Promedio					8,34E-01



**Figura 17.** Criticidad tecnología QDLED

Se muestra que el elemento crítico según la cantidad necesaria para la construcción de tecnología QDLED es el In. Ya que es el elemento que mayor cantidad se requiere para la construcción de la capa de ánodo (ITO).

El Indio, es un elemento que se recupera principalmente de minerales de zinc sulfurosos. La dependencia de la producción de los metales huéspedes da como resultado una mayor probabilidad de interrupciones en el suministro. Esto se debe a que el suministro de los subproductos está limitado en principio por la cantidad de metal que se extrae cada año y, como tal, podría no ajustarse a los aumentos (rápidos) de la demanda, lo que provocaría escaseces<sup>42</sup>.

### 3.2.2.4 Consumo de energía de elaboración QDLED

El inventario de QDLED también proporciona el dato de energía de consumo para la construcción de la tecnología QDLED. Se realizó la conversión de cm<sup>2</sup> a m<sup>2</sup> y de KWh a MJ. Ta como se puede ver en la siguiente tabla.

**Tabla 45.** Consumo de energía de elaboración QDLED

Capas	Cantidad (KWh)	Conversión (MJ)	Producción de	Expresión en m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	
Todas las capas	0,09	0,324	4,00E+00	cm <sup>2</sup>	4,00E-04	810,00
					<b>TOTAL</b>	<b>810,00</b>

## 3.3 Discusión 1- Indicadores de Riesgo de suministro e importancia económica

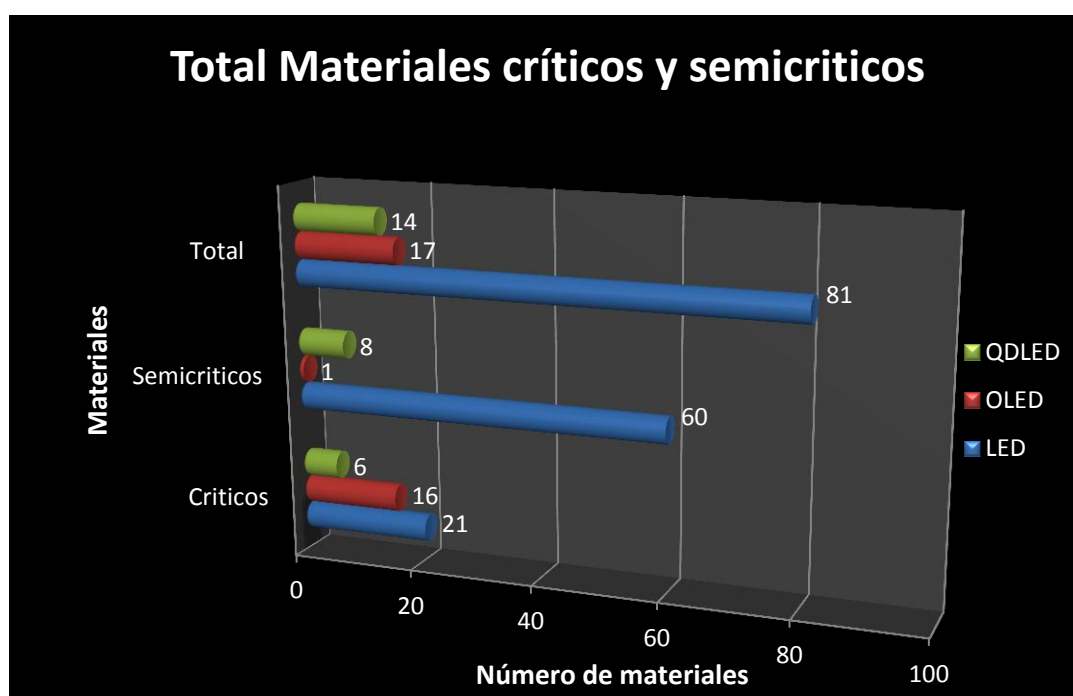
### 3.3.1 Del número de materiales críticos y semicríticos LED-OLED-QDLED

La comparación realizada según el número de materiales se determinó por conteo. Los resultados (Anexo 9), fueron que tanto para materiales críticos como semicríticos el que más número presentó fue la tecnología LED, en segundo lugar de materiales OLED y en primer lugar (menos número de materiales es mejor calificado) es para la tecnología QDLED. Los resultados se pueden ver en la Tabla 46 y gráficamente en la Figura 18, la semaforización de los resultados se muestra en la Tabla 47.

<sup>42</sup> Nassar N T & Co. 2015. By-product metals technologically essential but have problematic supply. Sci. Adv.

**Tabla 46.** Datos comparativos materiales críticos

Total Materiales			
Material o elemento Vs tecnología	Materiales críticos	Materiales semi-críticos	Total de materiales
LED	21	60	81
OLED	16	1	17
QDLED	6	8	14



**Figura 18.** Total materiales críticos y semicríticos

**Tabla 47.** Semaforización de materiales críticos

Tecnología	Posición tecnología según cantidad de materiales críticos
LED	3
OLED	2
QDLED	1

### 3.3.2 Del número de elementos críticos y semicríticos LED-OLED-QDLED

Los datos arrojados en el conteo de elementos críticos y semicríticos entre tecnologías exponen que OLED es la tecnología que menos elementos necesita para su construcción por lo que se posiciona en primer lugar, en segundo lugar se encuentra el QDLED y en tercer lugar el LED con 32 elementos.

Los resultados comparativos de los elementos críticos según la lista CRM, se pueden ver en la Tabla 48, la lista comparativa de elementos semicríticos en la Tabla 49 y el conteo del total de elementos críticos y semicríticos se pueden ver en la tabla 50, este mismo conteo se expone gráficamente en la Figura 19 y la semaforización de las tecnologías estudiadas según cantidad de elementos críticos y semicríticos en la Tabla 51.

**Tabla 48.** Lista comparativa de elementos críticos

Elemento crítico	Español	Símbolo	Grupo crítico	LED	OLED	QDLED
<i>Antimony</i>	Antimonio	Sb		X		
<i>Borate</i>	Boro	B		X		X
<i>Baryte</i>	Bario	Ba		X		
<i>Cobalt</i>	Cobalto	Co		X	X	
<i>Europium</i>	Europio	Eu	LREE		X	
<i>Fluorspar</i>	Flúor	F		X	X	X
<i>Gallium</i>	Galio	Ga		X		
<i>Indium</i>	Indio	In		X		X
<i>Iridium</i>	Iridio	Ir			X	
<i>Magnesium</i>	Magnesio	Mg		X		
<i>Palladium</i>	Paladio	Pd	PGMs	X		X
<i>Phosphate rock</i>	Fosforo	P		X	X	X
<i>Platinum</i>	Platino	Pt	PGMs	X		
<i>Rhodium</i>	Rodio	Rh	PGMs	X		
<i>Ruthenium</i>	Rutenio	Ru	PGMs		X	
<i>Tantalum</i>	Tántalo	Ta		X		
<i>Terbium</i>	Terbio	Tb	HREE		X	
<b>TOTALES</b>				13	7	5

**Tabla 49.** Lista comparativa elementos semicríticos

<b>SEMICRÍTICOS</b>					
Material	Español	Símbolo	LED	OLED	QDLED
<i>Aluminium</i>	Aluminio	Al	X		X
<i>Chromium</i>	Cromo	Cr	X		
<i>Copper</i>	Cobre	Cu	X		X
<i>Gold</i>	Oro	Ag	X		
<i>Iron ore</i>	Hierro	Fe	X		
<i>Lead</i>	Plomo	Pb	X		
<i>Lithium</i>	Litium	Li	X		X
<i>Manganese</i>	Manganeso	Mn	X		
<i>Molybdenum</i>	Molibdeno	Mo	X		



<i>Nickel</i>	Niquel	Ni	X		
<i>Potash</i>	Potasio	K	X		
<i>Rhenium</i>	Renio	Re	X		
<i>Silica sand</i>	Silicio	Si	X	X	X
<i>Silver</i>	Plata	Ag	X		X
<i>Sulphur</i>	Azufre	S	X		X
<i>Tellurium</i>	Teluro	Te	X		
<i>Tin</i>	Estaño	Sn			X
<i>Titanium</i>	Titanio	Ti	X		
<i>Zinc</i>	Zinc	Zn	X		
<b>TOTAL ELEMENTOS SEMICRITICOS</b>			<b>18</b>	<b>1</b>	<b>7</b>

Tabla 50. Datos comparativos elementos críticos

Total Elementos			
Material o elemento Vs tecnología	Elementos críticos	Elementos semi-críticos	Total de Elementos
LED	13	18	31
OLED	7	1	8
QDLED	5	7	12

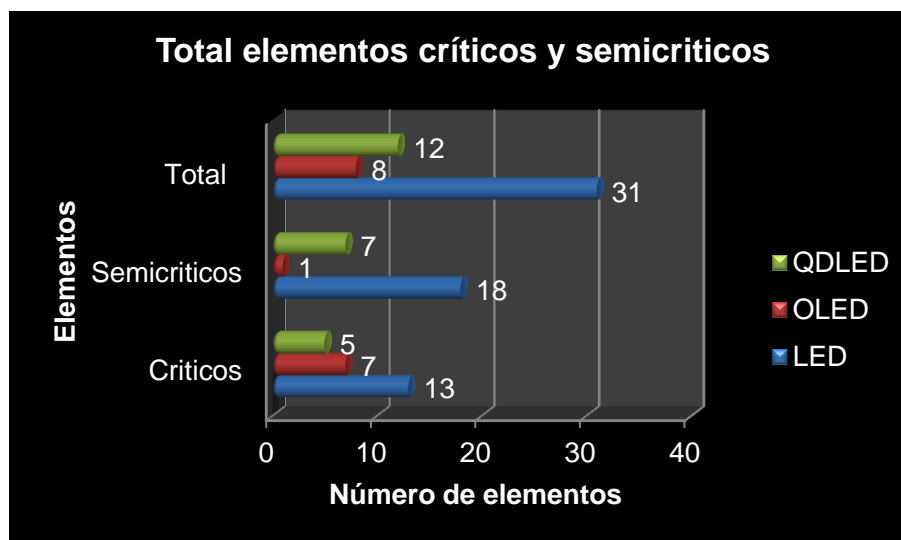


Figura 19. Total elementos críticos y semicríticos

Tabla 51. Semaforización de elementos críticos

Tecnología	Posición tecnología según cantidad de elementos críticos y semicríticos
LED	3
OLED	1
QDLED	2

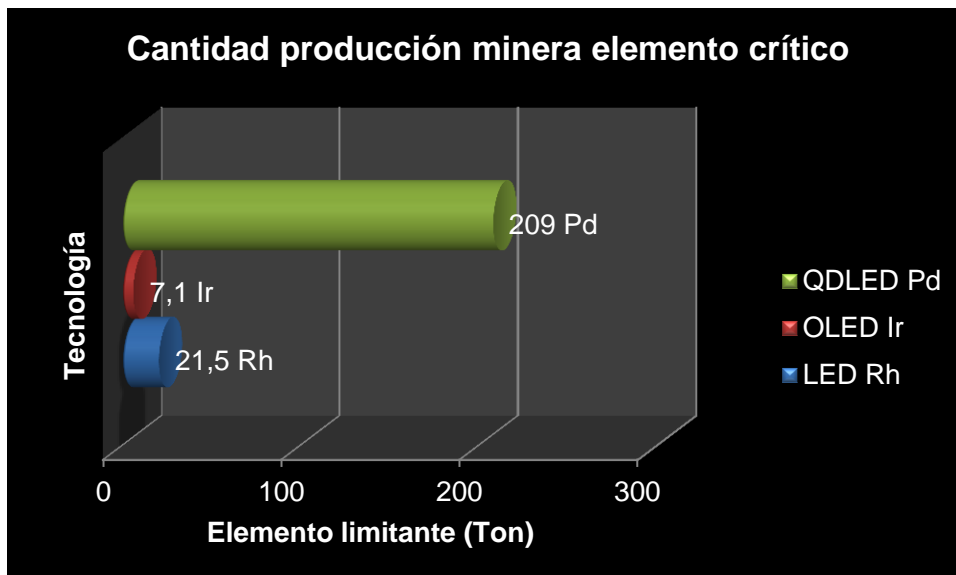
### 3.3.3 Según disponibilidad del elemento limitante entre LED-OLED-QDLED

Este resultado proviene únicamente de la producción del elemento crítico a nivel mundial por lo que es un índice de escases de los elementos utilizados para la construcción de las tecnologías. Se puede observar que los elementos más escasos para la construcción de este tipo de tecnología se encuentran en el grupo del platino PGMs.

En la Tabla 52 se muestra la disponibilidad mundial de producción de los elementos críticos más escasos por cada tecnología expresado en Toneladas según la bibliografía de las hojas de hechos del estudio de criticidad de la Unión Europea, Gráficamente se exponen los resultados de la Tabla 52 en la Figura 20 y la semaforización de los datos resultantes en la Tabla 53.

**Tabla 52.** Datos comparativos de elemento con menor producción minera a nivel mundial

Tecnología	Elemento crítico por cantidad de producción	Grupo crítico	Producción del elemento (Ton/año)	Presente en cuantos materiales
LED	Rh	PGMs	2,15E+01	6
OLED	Ir	PGMs	7,10E+00	4
QDLED	Pd	PGMs	2,09E+02	1



**Figura 20.** Cantidad de producción mundial disponible para elemento crítico limitante

**Tabla 53.** Semaforización de elemento escaso o limitante

<b>Posición Tecnología según uso del elemento más crítico, con más disponibilidad de producción mundial</b>	
LED	2
OLED	3
QDLED	1

### 3.3.4 Según la repetitividad de los elementos críticos LED-OLED-QDLED en la lista de la UE

Está bien establecido que el acceso a los recursos minerales es cada vez más difícil a medida que avanza el tiempo. Esto tiene dos consecuencias: en primer lugar, los depósitos de mineral nuevos son cada vez más difíciles de encontrar, y segundo, si se encuentran, los recursos que contienen son generalmente más difíciles de acceder<sup>43</sup>.

El índice de repetitividad de los elementos por año aumenta, cada tres años existen más elementos críticos y otros no dejan de serlo, por lo que este será una condición hasta que no se tomen medidas de mitigación a los elementos críticos, prevención de los elementos semicríticos y control sobre los elementos no críticos. Y por ende, la probabilidad y vulnerabilidad de los elementos críticos va aumentando cada año.

**Tabla 54.** Datos y porcentajes comparativos de la repetitividad de los elementos críticos en la lista de la CRM.

Tecnol	Elemento crítico	Total	2011	2014	2017	% Prom	Empezó a ser crítico en 2017	Se repite en 2 años	Se repite en 3 años
LED	Total	13	10	12	13		1	3	9
	%	100	76,9	92,3	100	89,7	7,6	23,0	69,2
OLED	Total	7	6	6	7		1	0	6
	%	100	85,7	85,7	100	90,4	14,2	0,00	85,7
QDLED	Total	5	3	5	5		0	2	3
	%	100	60	100	100	86,6	0,0	40,0	60,0
<b>TOTALES</b>		25	74,2	92,6	100		7,3	21,0	71,6

<sup>43</sup> Northey S & Co. 2014. Modelling of future copper ore grade decline based on a detailed assessment of copper resources and mining Resour. Conserv. Recy.

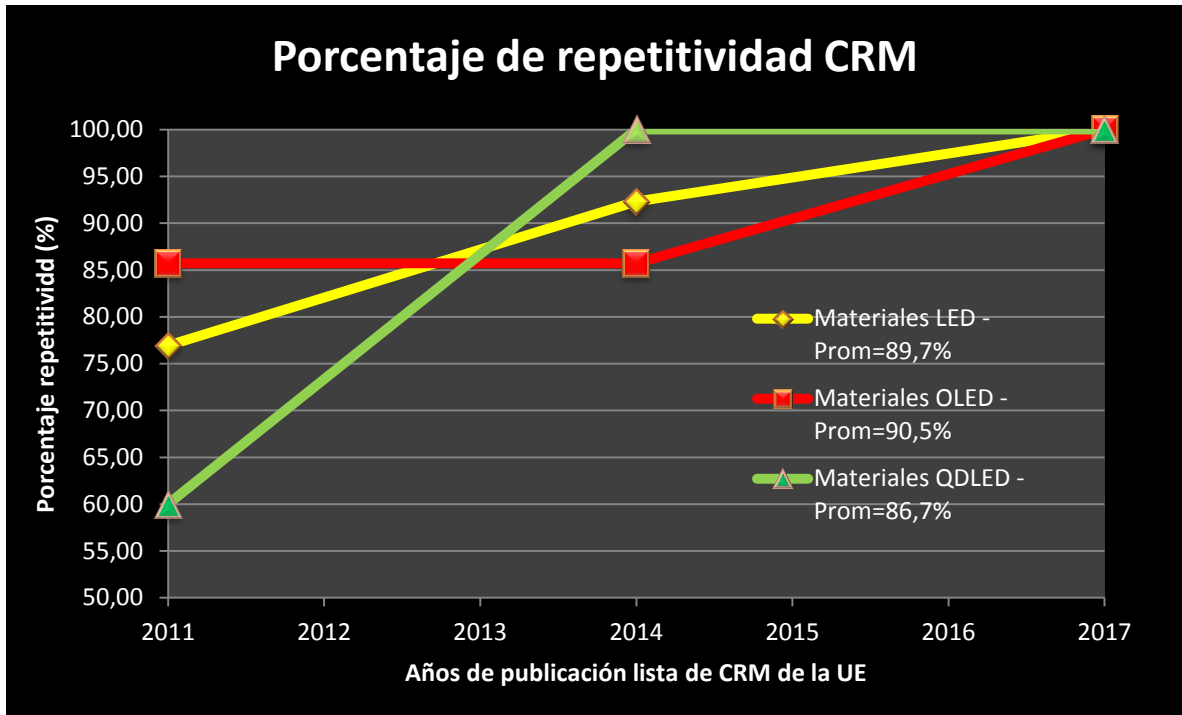


Figura 21. Porcentaje de repetitividad en la lista de CRM

El objetivo de la publicación de la listas es promover la economía circular dentro de la UE, pero se evidencia que desde el principio de las evaluaciones, en la lista de CRM de la UE en el 2011, el 60% de los elementos críticos utilizados en la tecnología QDLED ya se encontraban contemplados, sin existir aun esta tecnología como emergente.

Tabla 55. Semaforización de porcentaje de repetitividad de elementos en la CRM

Tecnología	Porcentaje de elementos que se repiten en los 3 años en los que la UE ha publicado CRM	Posición Tecnología según la repetitividad en la lista de CRM de la UE
LED	69,23	2
OLED	85,71	3
QDLED	60,00	1

### 3.3.5 Según los años de demanda y suministro de las tecnologías LED-OLED-QDLED

La importancia económica, llamada vulnerabilidad en el análisis de riesgos, está destinada a proporcionar una medida del impacto (económico) de las restricciones de suministro sobre el consumidor de interés. El impacto económico en este sentido

quizás se defina mejor como el costo monetario adicional que surge de un desequilibrio entre oferta y demanda<sup>44</sup>

La tecnología evaluada con mayor incertidumbre en la demanda y suministro de elementos críticos es OLED, debido a que los elementos críticos que maneja son los más críticos dentro de la matriz de criticidad correspondientes a la Tierras raras. En segundo lugar está el QDLED el cual a partir de los 20 años se restringirá abruptamente el suministro de sus elementos. Y en primer lugar LED que a pesar de la cantidad de elementos críticos que requiere para su construcción, estos elementos tienen menor demanda y mayor suministro a través del tiempo.

El resumen de lo expuesto anteriormente a partir de los datos resultantes por tecnología se muestra en la Tabla 56, los mismos datos se muestran de forma gráfica en las Figuras 22 y 23 y la semaforización resultante en la Tabla 57.

**Tabla 56.** Datos y porcentajes de incertidumbre para la Demanda y suministro de elementos críticos a 5, 10 y 20 años

Tecnología	Años	Demanda			Suministro		
		5	10	20	5	10	20
LED	Elementos disponibles	11	10	5	11	10	4
	Elementos con incertidumbre	2	3	8	2	3	9
	Porcentaje elementos con incertidumbre	15,4	23,1	61,5	15,4	23,1	69,2
OLED	Elementos disponibles	4	4	2	4	4	1
	Elementos con incertidumbre	3	3	5	3	3	6
	Porcentaje elementos con incertidumbre	42,9	42,9	71,4	42,9	42,9	85,7
QDLED	Elementos disponibles	4	4	1	4	4	0
	Elementos con incertidumbre	1	1	4	1	1	5
	Porcentaje elementos con incertidumbre	20,0	20,0	80,0	20,0	20,0	100,0

<sup>44</sup> Helbig C, Wietschel L, Thorenz A and Tuma A 2016 How to evaluate raw material vulnerability—an overview *Resour. Policy* **48** 13–24

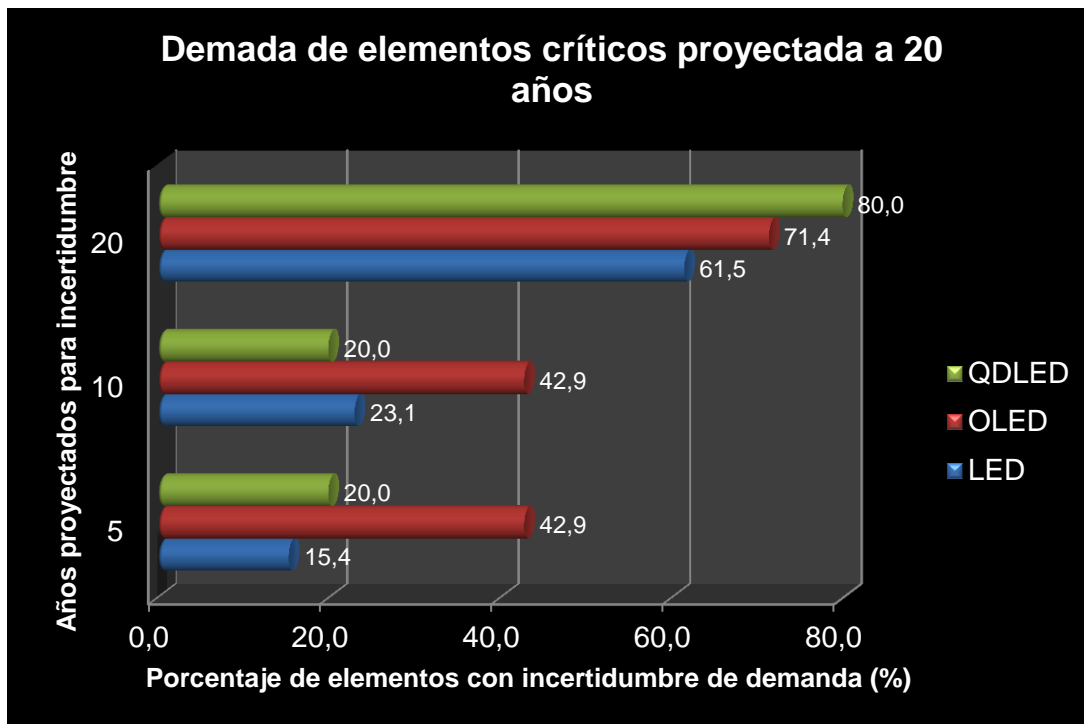


Figura 22. Demanda de elementos críticos proyectada a 20 años

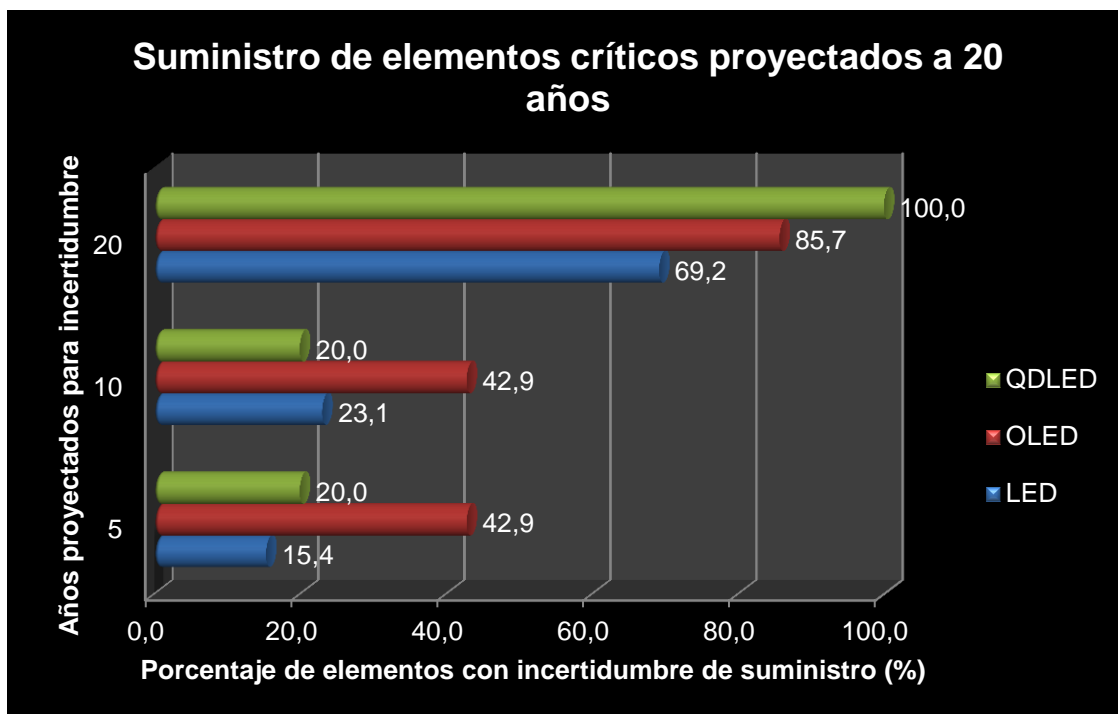


Figura 23. Suministro de elementos críticos proyectados a 20 años

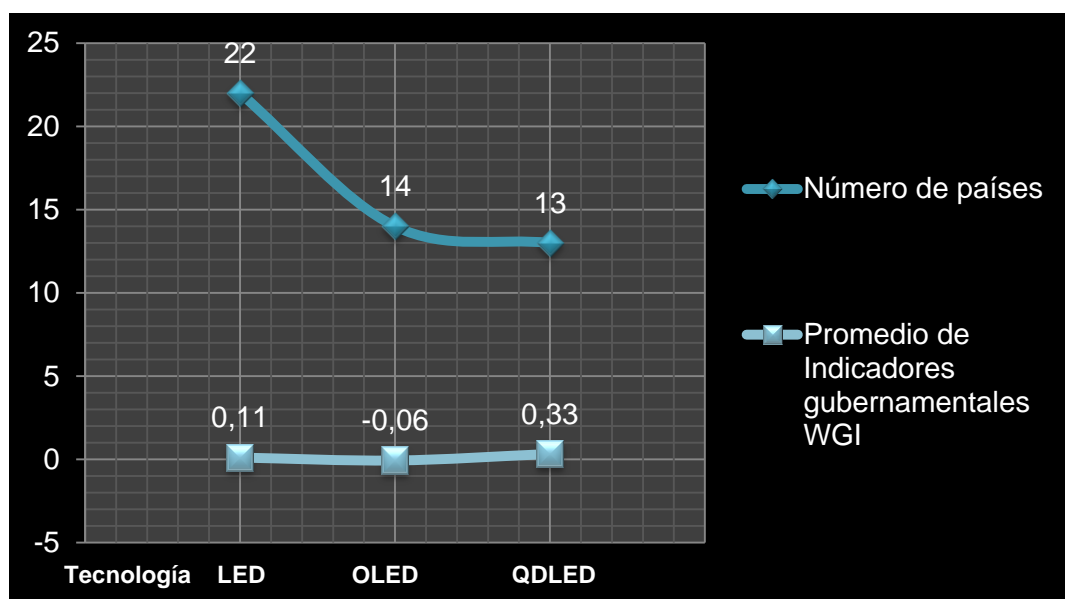
Se realiza una semaforización por año proyectado y se posicionan las tecnologías según los resultados, como se muestra en la Tabla 57.

**Tabla 57.** SemafORIZACIÓN de elementos con incertidumbre

Posición según porcentaje elementos con incertidumbre de suministro					
Años de suministro	5	10	20	Sumatoria por tecnología	Posición tecnología según incertidumbre
LED	1	2	1	4	1
OLED	3	3	2	8	3
QDLED	2	1	3	6	2

### 3.3.6 Según Gobernanza de los elementos críticos para LED-OLED-QDLED

La mayoría de los países industrializados dependen fuertemente de las importaciones de materias primas, ya que sus depósitos nacionales de materias primas y sus actividades de explotación son pequeñas<sup>45</sup>, por lo anterior, la gobernanza de esas materias primas es un criterio de evaluación fundamental como indicador político y económico. El número de países involucrados en la adquisición de materiales y el promedio de indicadores gubernamentales se muestran en la Figura 24.



**Figura 24.** Número de países y promedio de Indicadores gubernamentales por tecnología

Los resultados a este indicador muestran que el mayor número de países con indicadores de gobernabilidad bajos se encuentran para la comercialización de materiales de tecnología OLED, por la presencia de elementos críticos en países

<sup>45</sup> Behrens, A. & Co , 2007. The material basis of the global economy: worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. Ecol. Econ. 64 (2), 444–453, Special Section—Ecosystem Services and Agriculture Ecosystem Services and Agriculture.

como: Republica democrata del Congo, Marruecos, Rusia y Zimbabue que tienen los 6 indicadores de gobernabilidad calificados como débiles.

En segundo lugar está el LED que a pesar de tener la mayor cantidad de elementos críticos estos elementos se encuentran gobernados por países tanto de alta como de baja estabilidad gubernamental y por lo tanto el promedio de los indicadores respecto a los de OLED es más alto.

La Tecnología QDLED es la más confiable en comparación con sus antecesoras, debido a que se encuentra con el promedio más alto por sus elementos encontrarse en países con mejores índices de gobernabilidad. La posición de la tecnología según los indicadores WGI se muestra en la Tabla 58.

**Tabla 58.** Semaforización según indicadores WGI

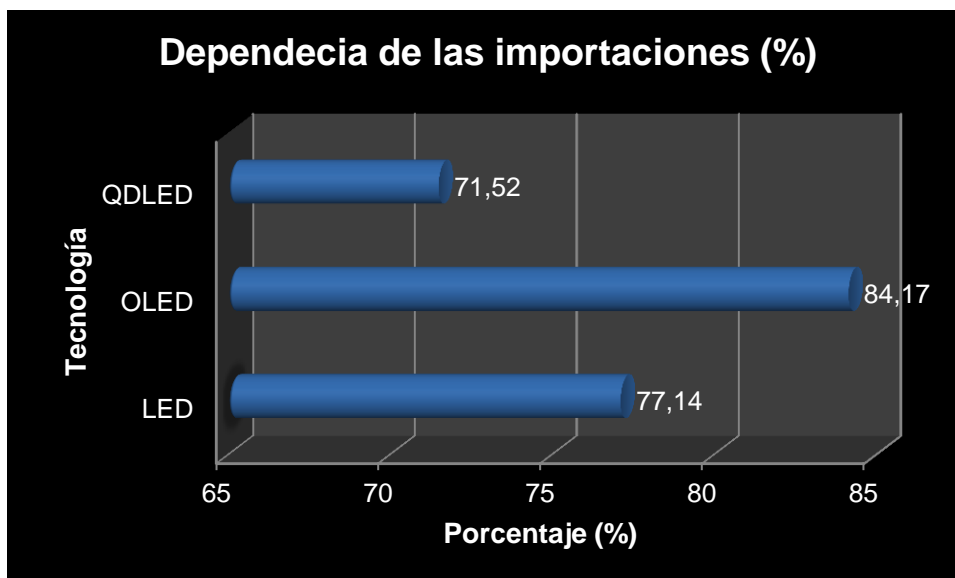
<b>Tecnología</b>	<b>Número de países</b>	<b>Promedio de Indicadores de Gobernanza Mundial (WGI)</b>	<b>Posición de tecnología según indicadores WGI</b>
LED	22	0,11	2
OLED	14	-0,06	3
QDLED	13	0,33	1

### 3.3.7 Según dependencia de las importaciones de elementos de la UE

Ya que este indicador relaciona las importaciones con la existencia en la Unión Europea, la semaforización indica que entre menor es la dependencia de las importaciones mayor es la confiabilidad en el suministro de elementos críticos para la construcción de las tecnologías.

Gráficamente se representa la dependencia de importaciones en porcentaje (%) por tecnología en la Figura 25, según el comunicado de la Comisión Europea al parlamento relativo a la lista CRM de 2017. La posición por índice de dependencia de importaciones se muestra en la Tabla 59.





**Figura 25.** Dependencia de importaciones de elementos críticos por tecnología

**Tabla 59.** Semaforización por índice de dependencia de importaciones

Tecnología	Índice de dependencia de las importaciones (%)	Semaforización por índice de dependencia de importaciones
LED	77,14	2
OLED	84,17	3
QDLED	71,52	1

### 3.3.8 Según número de capas vulnerables para las tecnologías LED-OLED y QDLED

El menor porcentaje de capas afectadas lo tiene la tecnología LED, tal como se puede ver en la Figura 26, debido a que en su construcción la mayoría de elementos críticos se encuentran en una capa, la de los diodos, por otro lado el mayor porcentaje de capas afectadas está en el OLED debido a que en 4 de las 6 capas se encuentran elementos críticos constitutivos.

La relación del número total de capas vulnerables por tecnología y el total de capas se puede ver en la Tabla 60, en esta misma tabla se puede ver la semaforización según el número de capas afectadas. En la mitad de la semaforización se encuentra QDLED, para esta tecnología existen 4 capas vulnerables de 7 totales son: Ánodo (ITO glass) especialmente por el Indio debido a que tiene el 90% de peso en esta capa, monómero 1, monómero 2 y Polímero 124, tal como se puede ver en el Anexo 8.

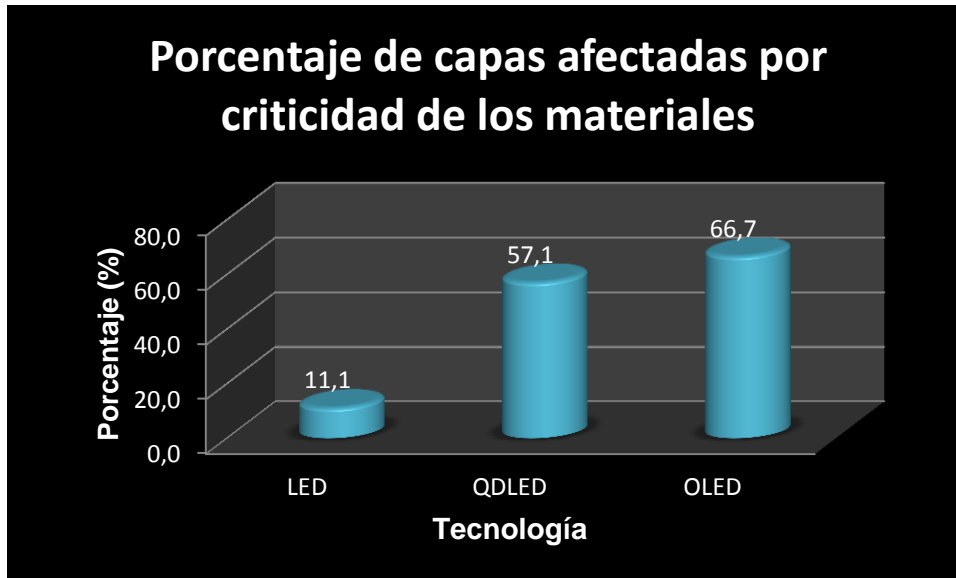


Figura 26. Porcentaje de capas afectadas por criticidad de los materiales para cada tecnología

Tabla 60. Semafización por porcentaje de capas afectadas

Tecnología	Número total de capas vulnerables por tecnología	Número total de capas de la tecnología	Porcentaje de capas afectadas	Semafización de porcentaje de capas afectadas
LED	1	9	11,1	1
QDLED	4	7	57,1	2
OLED	4	6	66,7	3

### 3.3.9 Según Índice del aporte del reciclado LED-OLED y QDLED

OLED es la tecnología en la que sus elementos críticos proporcionan mayor reciclaje al ciclo económico, debido a que 3 de sus elementos se encuentran en un porcentaje de reciclaje mayor o igual al 14% (Fosforo, Iridio y Rutenio por pertenecer al grupo del platino). Por otra parte 2 de los 5 elementos utilizados en la tecnología QDLED no tienen índice de aporte al reciclaje (Indio y Boro).



Figura 27. Índice de aporte del reciclado al final de la vida útil por tecnología

Tabla 61. Semaforización de Índice de aporte del reciclado

Tecnología	Índice de aporte del reciclado al final de su vida útil (%)	Semaforización Reciclaje
LED	7,62	2
OLED	8,14	1
QDLED	6,40	3

### 3.3.10 Según Índice de sustitución

La sustitución, la eficiencia de las materias primas en los productos industriales y las tasas de reciclaje sirven para aliviar la tensión del sistema global de producción primaria y contribuyen a la reducción en el consumo de materia prima<sup>46</sup>. Al ver la importancia de este índice se interpreta el resultado como el mayor porcentaje de sustitución mínima quiere decir que es más vulnerable y un riesgo de criticidad más alto.

Como el índice de menor sustituibilidad es 1, el porcentaje comparativo para categorizar las tecnologías, se determina a partir de los elementos que más tengan este índice respecto al total de elementos críticos por cada tecnología. El índice de sustitución para materiales LED, OLED y QDLED se muestra en la Figura 28, 29 y 30 respectivamente. El porcentaje de cada tecnología respecto al número total de elementos críticos se muestra Figura 31 y se realiza la semaforización en la Tabla 62.

<sup>46</sup> Anderson M S 2007 An introductory note on the environmental economics of the circular economy *Sustain. Sci.*

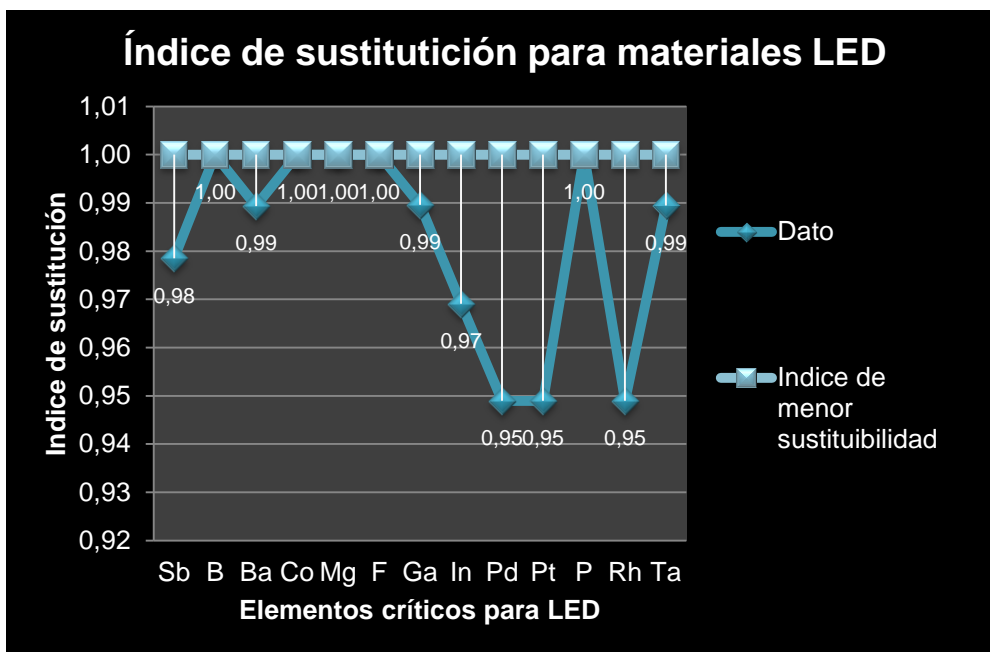


Figura 28. Índice de sustitución para LED

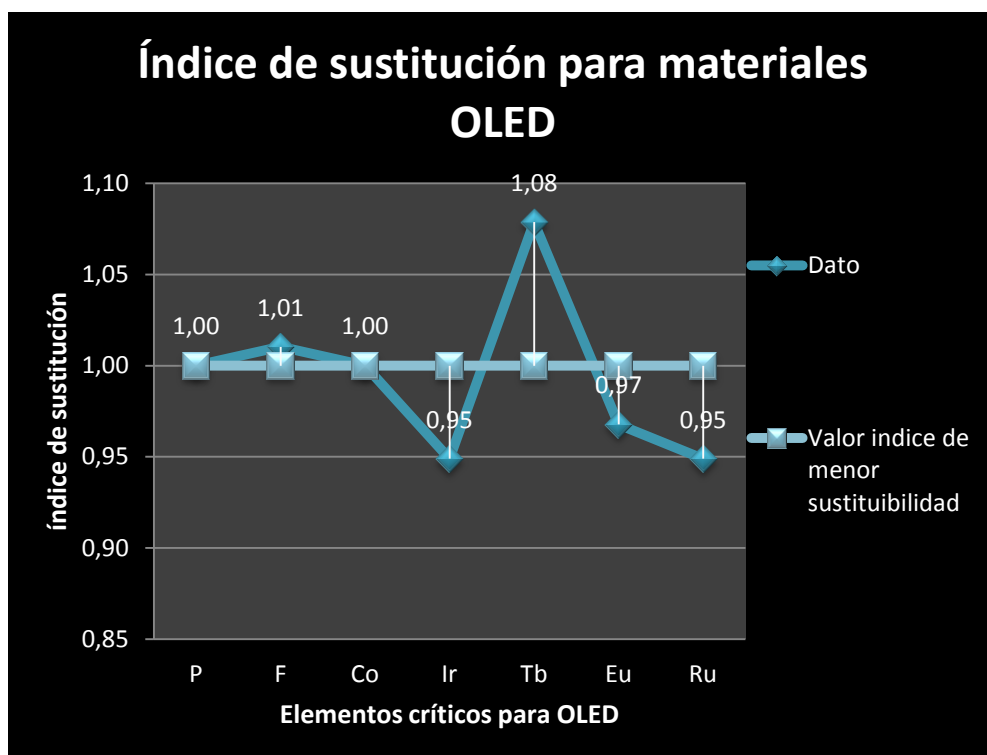


Figura 29. Índice de sustitución para materiales OLED

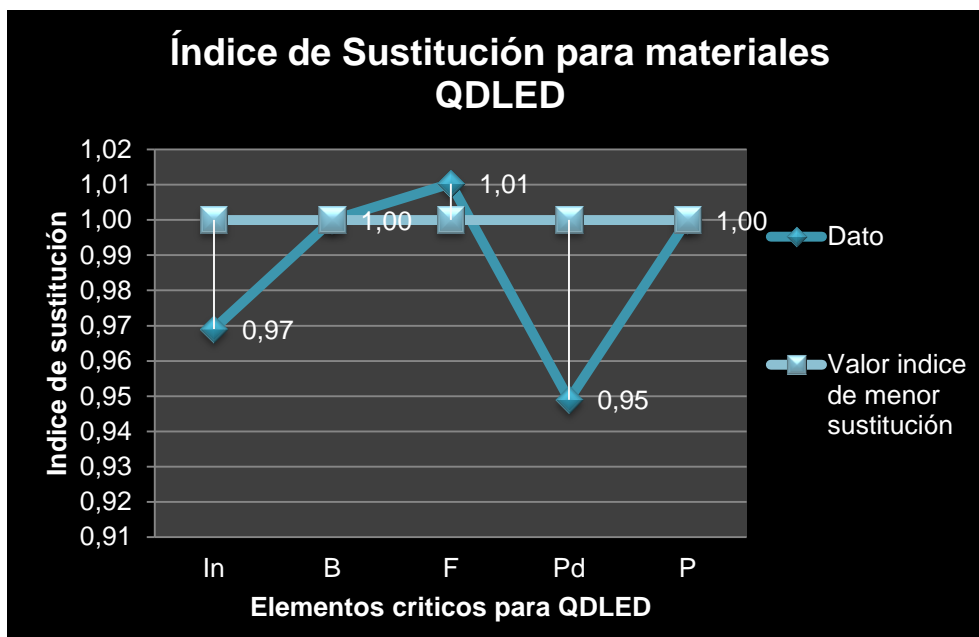


Figura 30. Índice de sustitución para materiales QDLED

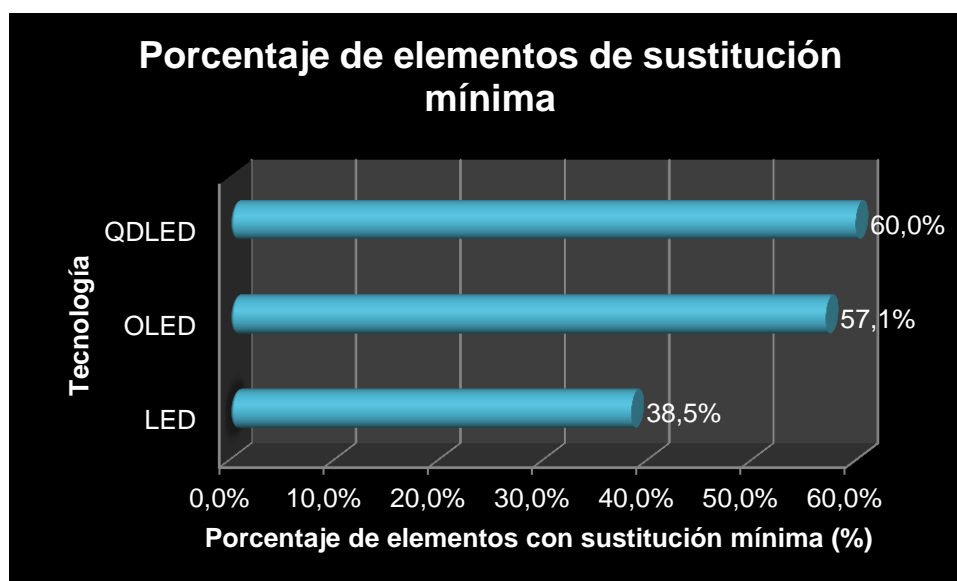


Figura 31. Porcentaje de e elementos de sustitución mínima por tecnología

Tabla 62. Semaforización de índice de sustitución

Tecnología	Porcentaje de elementos de sustitución mínima	Semaforización
LED	38,5%	
OLED	57,1%	
QDLED	60,0%	

### 3.4 Discusión 2 – Criticidad

La discusión por criticidad se basa en la cantidad de elemento crítico. Por lo que se comparan las tecnologías con inventario que permitieron calcular las cantidades en peso de los elementos críticos. Se contaron con los inventarios para LED y QDLED. Se exponen y grafican 4 tipos de comparaciones y se categorizan con la metodología de semaforización.

#### 3.4.1 Según el peso de elementos críticos LED vs QDLED

Se evidencia que la tecnología LED utiliza en su construcción mayor cantidad de elementos críticos, este dato viene dado especialmente por el uso del flúor con el 92% de concentración, como se puede observar en el Anexo 4. Las cantidades de elementos críticos para LED y QDLED en la misma unidad funcional ( $\text{Kg/m}^2$ ) se totalizan en la Tabla 63.

**Tabla 63.** Cantidades de elementos críticos LED y QDLED ( $\text{Kg/m}^2$ )

Símbolo	Grupo Crítico	LED	QDLED
Sb		3,48E-08	
B		2,55E-05	9,77E-05
Ba		6,09E-01	
Co		1,48E-05	
F		4,21E+01	2,73E-03
Ga		1,03E-11	
In		3,33E-10	5,58E-01
Mg		3,41E-01	
Pd	PGMs	4,61E-11	1,37E-07
P		6,38E-02	1,60E-07
Pt	PGMs	2,86E-11	
Rh	PGMs	1,84E-12	
Ta		9,51E-05	
<b>TOTALES</b>		13	5
<b>CANTIDADES TOTALES (<math>\text{Kg/m}^2</math>)</b>		<b>4,31E+01</b>	<b>5,61E-01</b>

Los resultados de las cantidades totales se grafican utilizando la misma cantidad comparativa ( $\text{Kg/m}^2$ ) en la Figura 32. Y se realiza la semaforización en la Tabla 64.

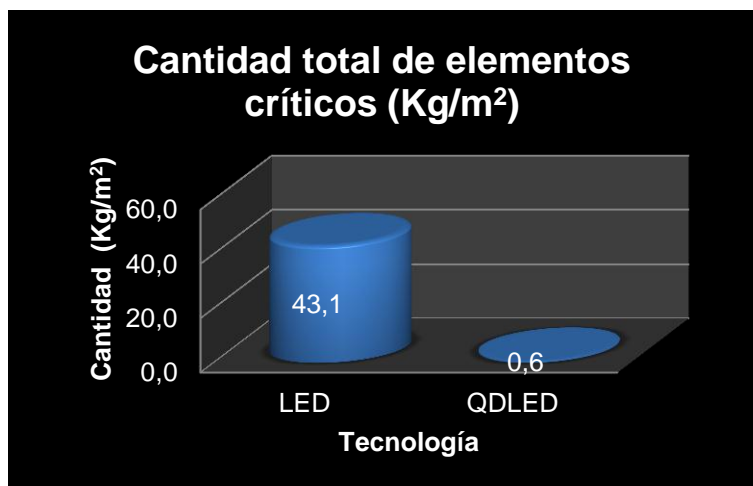


Figura 32. Cantidad total de materiales críticos (Kg/m<sup>2</sup>)

Tabla 64. Semaforización según el peso de elementos críticos

Tecnología	Cantidad total de elementos críticos (Kg/m <sup>2</sup> )	Semaforización de Cantidad materiales críticos
LED	4,31E+01	2
QDLED	5,61E-01	1

### 3.4.2 Según el peso LED vs QDLED

La tecnología que requiere mayores cantidades de materiales es la LED. Este ítem comparativo está relacionado con la huella ecológica, como indicador de impacto ambiental por el uso de recursos geológicos (Figura 33). La semaforización respectiva se muestra en la Tabla 65.

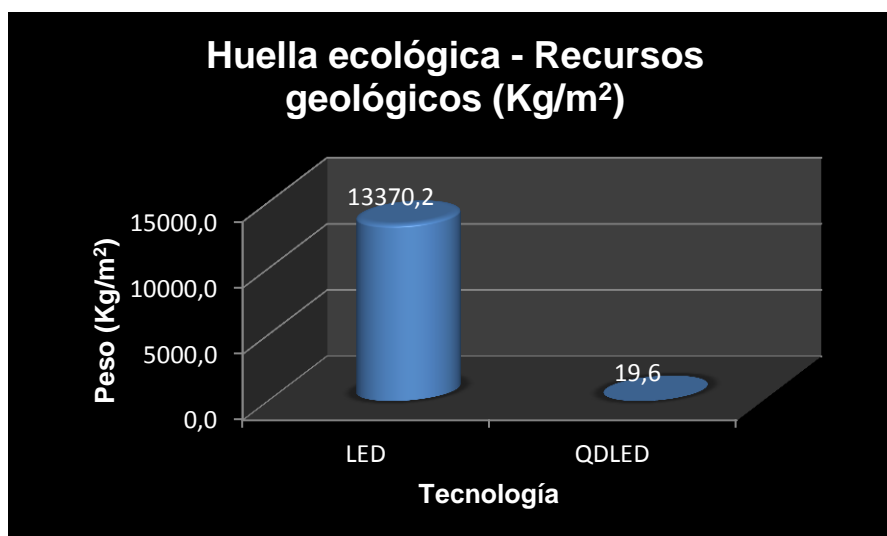


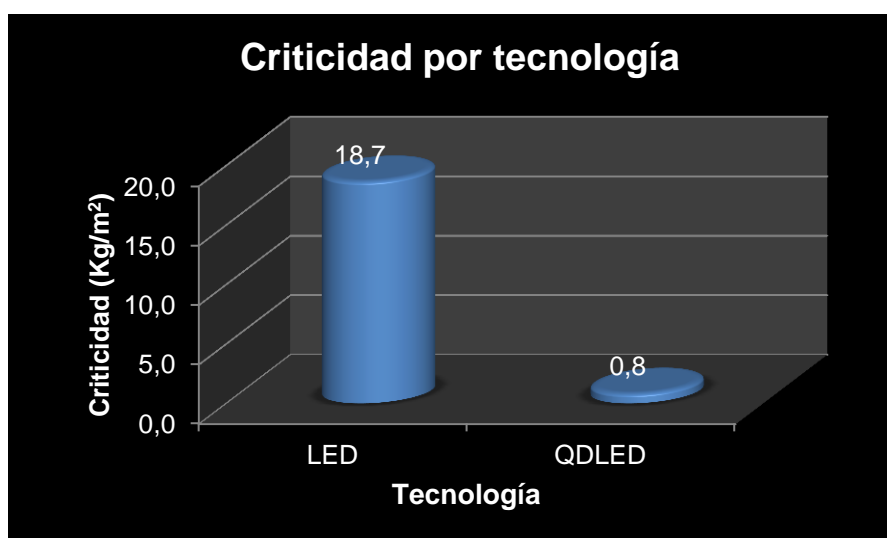
Figura 33. Huella ecológica por recursos geológicos (kg/m<sup>2</sup>)

**Tabla 65.** Semaforización peso LED vs QDLED

Tecnología	Peso (Kg/m <sup>2</sup> )	Semaforización peso
LED	1,34E+04	2
QDLED	1,96E+01	1

### 3.4.3 Según criticidad de elementos para LED Vs QDLED

La criticidad específica por tecnología arroja que es mayor la criticidad de LED debido a que requiere más número de elementos críticos y mayor cantidad que la tecnología QDLED. Vale aclarar y repetir del numeral 3.2.1.3, que los valores de criticidad específica es un valor que toma las mismas unidades de la unidad funcional que se haya escogido, en esta investigación Kg/m<sup>2</sup>, ya que los parámetros de criticidad de Riesgo de suministro (SR) e Importancia Económica (EI) son adimensionales.



**Figura 34.** Criticidad por tecnología

La Figura 34 muestra la criticidad de las tecnologías LED y QDLED en la unidad funcional Kg/m<sup>2</sup> y la Tabla 66 la semaforización de la tecnología según la criticidad.

**Tabla 66.** Semaforización según criticidad

Tecnología	Criticidad	Semaforización tecnología según Criticidad
LED	1,87E+01	2
QDLED	8,34E-01	1



### 3.4.4 Según consumo de energía de elaboración LED vs QDLED

El requerimiento de energía es un criterio importante debido a que: los metales industriales son más significativos por el procesamiento y refinado posterior a la mina de materias primas no combustibles a metales. Los productos minerales representan aproximadamente el 12% del consumo mundial de energía<sup>47</sup>. Este ítem se encuentra relacionado con la Huella ecológica dejada por el consumo de energía y el correspondiente calor emitido al medio ambiente (Figura 35). En la comparación de energía de elaboración la tecnología QDLED garantiza mayor eficiencia de este recurso, tal como se puede ver en la semaforización (Tabla 67).

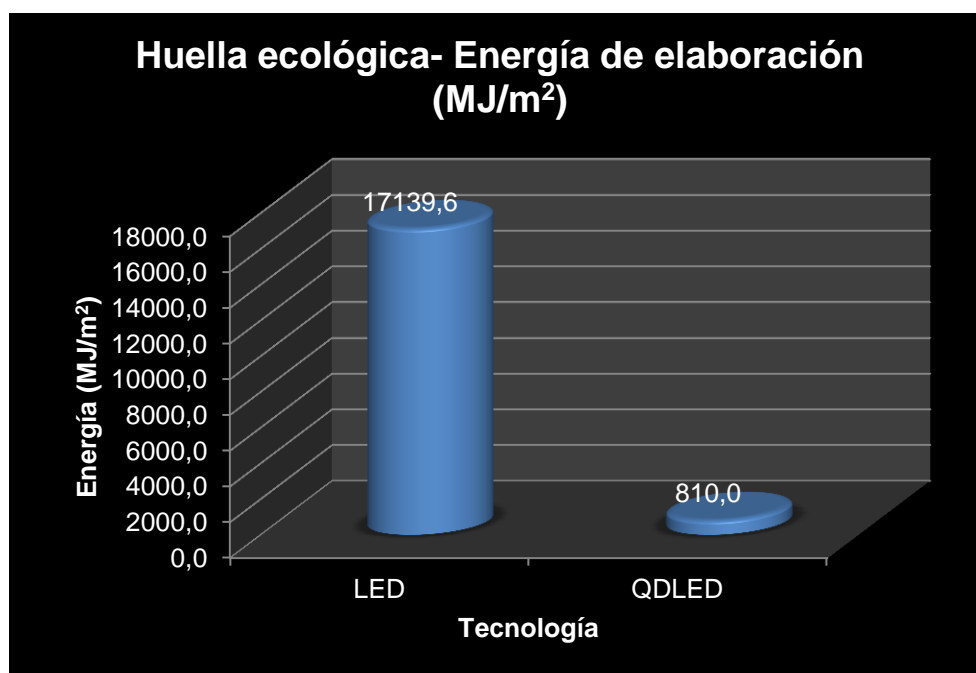


Figura 35. Huella ecológica por energía de elaboración de cada tecnología

Tabla 67. Semaforización energía consumida

Tecnología	Energía de elaboración (MJ/m <sup>2</sup> )	Semaforización Energía consumida
LED	1,71E+04	2
QDLED	810,00	1

<sup>47</sup> EIA Energy Information Administration 2016. International Energy Outlook. Washington, DC: U.S.

### 3.5 Discusión 3- Balance de las Comparaciones

#### 3.5.1 Con indicadores de Riesgo de suministro e Importancia Económica

Tal como se puede observar en el siguiente balance (Tabla 68), resumen de las comparaciones realizadas entre tecnologías para dispositivos opto electrónicos, a partir de indicadores de Riesgo de Suministro e Importancia Económica, se considera que la tecnología menos crítica es la tecnología QDLED, con un 50% de criterios a favor.

**Tabla 68.** Balance de comparaciones indicadores de RS-EI

<b>Criterios indicadores RS-EI</b>	<b>LED</b>	<b>OLED</b>	<b>QDLED</b>
Según del número de materiales críticos y semi-críticos (Nº)	81	17	14
Según número de elementos críticos y semicríticos (Nº)	31	8	12
Según disponibilidad del elemento limitante (Ton)	21,5	7,1	209
Según la repetitividad de los elementos críticos en la lista de la UE (Convertido a %)	69,2	85,7	60
Según los años de demanda y suministro de los materiales (sumatoria de valores)	4	8	6
Según Gobernanza de los elementos críticos (Promedio Worldwide Governance Indicators WGI)	0,11	-0,06	0,33
Según dependencia de las importaciones de elementos de la UE (%)	77,1	84,1	71,5
Según número de capas vulnerables para las tecnologías (convertido a %)	11,1	57,1	66,7
Según Índice del aporte del reciclado (%)	7,6	8,14	6,4
Según índice de sustitución (convertido a %)	38,5	57,1	60
Total verdes	3	2	5
Total amarillos	5	2	3
Total Rojos	2	6	2
Total sumatoria	10	10	10
Porcentaje Verdes	30%	20%	50%
Porcentaje amarillos	50%	20%	30%
Porcentaje Rojos	20%	60%	20%
Total porcentaje	100%	100%	100%

#### 3.5.2 Con Indicadores de Criticidad

Los indicadores de criticidad, dados por la cantidad de elementos críticos necesarios para las tecnologías comparadas, evidencian que de los 4 criterios propuestos, los 4 son a favor de la tecnología QDLED, lo que corresponde al 100%.

**Tabla 69.** Balance de comparaciones por criticidad

<b>Criterio de criticidad</b>	<b>LED</b>	<b>QDLED</b>
Según el peso de elementos críticos ( <b>Kg/m<sup>2</sup></b> )	43,1	0,6
Según el peso ( <b>Kg/m<sup>2</sup></b> )	13370,2	19,6
Según criticidad de elementos ( <b>Kg/m<sup>2</sup></b> )	18,7	0,8
Según consumo de energía de elaboración( <b>MJ/m<sup>2</sup></b> )	17139,6	810
Total verdes	0	4
Total rojos	4	0
Total sumatoria	4	4
Porcentaje verdes	0%	100%
Porcentaje rojos	100%	0%
Total porcentaje	100%	100%



## CAPÍTULO 4

### 4 CONCLUSIONES

Por medio de lo establecido por la Comisión Europea, las listas e inventarios de materiales y las metodologías utilizadas en el presente trabajo de concluye que:

1. La criticidad de la tecnología *Quantum Dots Light Emitting Diode* QDLED, radica en 5 elementos críticos In, B, F, Pd, P necesarios para 6 materiales de construcción de la tecnología QDLED, -por tener más de 1 en Riesgo de Suministro y más de 2,8 en Importancia económica-, y en 7 elementos semicríticos Sn, Cu, Ag, Al, Li, S y Si necesarios para 8 materiales.

El elemento Paladio (Pd) es el elemento limitante por producción mundial, se utiliza en el tetrakis(triphenylphosphino)Pd(0) para Monómero 2, el Paladio junto con el Indio y el Flúor se han repetido como elemento crítico en las tres listas generadas de CRMs.

Los elementos In, B, Pd y el P mantendrán la demanda y suministro por 10 años, dentro de 20 será una incertidumbre, además, el elemento Flúor habrá incertidumbre tanto de demanda como de suministro dentro de 5 años.

Los Países más vulnerables para comercialización segura de los elementos críticos necesarios para la construcción de tecnología QDLED son China, Rusia y Turquía. China se muestra en las tres tecnologías como el más inestable debido a que 5 de los 6 indicadores de Gobernabilidad mundial WGI se encuentran por debajo de 0 según el Banco Mundial.

Los elementos críticos de QDLED tienen un índice de dependencia de importaciones de 71,5%, un índice de aporte del reciclado al final de la vida útil de los elementos del 6,4% y un índice de sustitución mínima del 60% de los materiales críticos (3/5).

La criticidad propiamente operada entre los parámetros de criticidad y la unión funcional escogida ( $\text{kg/m}^2$ ) con la fórmula ( $\text{SR} \cdot \text{EI} \cdot \text{Kg/m}^2$ ) se determinó especialmente en el elemento crítico Indio, debido a que es el elemento crítico más pesado en el ánodo del sistema tecnológico.

Gracias al inventario de QDLED se pudo determinar que para la construcción de  $1\text{m}^2$  de esta tecnología se necesitan 0,56Kg de elementos críticos, 19,6 Kg de materiales en general y 810 MJ de energía.

2. Con la comparación de las tecnologías LED, OLED y QDLED en los 10 indicadores de Riesgo de suministro e Importancia económica y los 4 ítems de criticidad evaluados a partir del inventario de la tecnología QDLED, ésta quedó evaluada superlativamente en el 50% de aceptabilidad en indicadores de SR-EI y 100% en criticidad, por lo que, se puede concluir que para producción a gran escala de dispositivos opto electrónicos, QDLED es una tecnología propicia porque mejora el aligeramiento de la tecnología convencional y reduce la huella ecológica por la reducción de impacto ambiental geológico (elementos críticos) y energético.

## 5 REFERENCIAS

- 1 Agencia europea del medio ambiente (2017). Uso del suelo. Online: <https://www.eea.europa.eu/es/themes/landuse/intro>. Dinamarca.
- 2 Anderson M S 2007 An introductory note on the environmental economics of the circular economy *Sustain. Sci.*
- 3 Asset Insights (2014). Criticality Matrix (Risk Matrix). Online: [http://www.assetinsights.net/Glossary/G\\_Criticality\\_Matrix.html](http://www.assetinsights.net/Glossary/G_Criticality_Matrix.html).
- 4 Behrens, A. & Co , 2007. The material basis of the global economy: worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. *Ecol. Econ.* 64 (2), 444–453, Special Section—Ecosystem Services and Agriculture Ecosystem Services and Agriculture.
- 5 Comisión Europea (2017). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones, relativa a la lista de d e2017 de materias primas fundamentales para la UE. Bruselas
- 6 European Commission (2010). Press release Database. Online: [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-10-263\\_es.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-10-263_es.htm). Bruselas.
- 7 European commission (2017). Internal market, industry, entrepreneurship and SMEs, Critical Raw materials. Online: [http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en). Brussels, Belgium
- 8 European commission (2008). Policy and strategy for raw materials. Online: [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en). Brussels.
- 9 European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Criticality Assessments. Brussels.
- 10 European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials Factsheets. Online: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>. Brussels.
- 11 European Commission, Eurostar (2008). NACE Rev.2, Statistical classification of economic activities in the European Community. Luxembourg
- 12 EU Commission 2014. Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad-Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. Brussels: EU Commission.
- 13 Erdmann, L., Graedel, T.E., (2011). Criticality of non-fuel minerals: a review of major approaches and analyses. *Environ. Sci. Technol.*
- 14 EIA Energy Information Administration 2016. International Energy Outlook. Washington, DC: U.S.
- 15 Duclos SJ, Otto JP, Konitzer DG (2010). Design in an era of constrained resources. England.
- 16 Gian Andrea Blenginia, & Co. (2017). EU methodology for critical raw materials assessment: Policy needs and proposed solutions for incremental improvements. El sevier

- 17 Hatice Sengül (2010). An environmental impact assessment of quantum dot photovoltaics (QDPV) from raw material acquisition through use. El sevier.
- 18 Hodogaya Chemical. (2004) Online: <https://www.hodogaya.co.jp/english/products/oled/>. Japanese.
- 19 Institución Universitaria de Envigado (2016). Matriz de análisis de riesgos. Online: <https://sites.google.com/site/avauditoriaeninformatica/home/modulo-3-tecnicas-y-herramientas-de-la-auditoria-de-sistemas/disenio-de-la-matriz-de-riesgos>. Colombia.
- 20 Joled. (2018) Online: <https://www.j-oled.com/eng/company/Japanese>.
- 21 Lison D. 2009. Sintered indium-tin-oxide (ITO) particles: a new pneumotoxic entity. Toxicol Sci.
- 22 M, Frenzel (2017). Raw material 'criticality'—sense or nonsense?. Topical review • open access.
- 23 Mayer, H. and Gleich, B. (2015) Measuring Criticality of Raw Materials: An Empirical Approach Assessing the Supply Risk Dimension of Commodity Criticality. Natural Resources, 6, 56-78
- 24 Nassar N T & Co. 2015. By-product metals technologically essential but have problematic supply. Sci. Adv
- 25 Northey S & Co. 2014. Modelling of future copper ore grade decline based on a detailed assessment of copper resources and mining Resour. Conserv. Recy.
- 26 Philips (2007). Lighting your path to the future. Online: [https://www.imaps.org/gbc/IMAPS07/GBC1\\_PhilipsLumileds.pdf](https://www.imaps.org/gbc/IMAPS07/GBC1_PhilipsLumileds.pdf). USA.
- 27 Simona Scalbi (2016). Environmental assessment of new technologies:production of a Quantum Dots Light Emitting Diode. Italy. El sevier.
- 28 Simon Glöser & Co (2015). Raw material criticality in the context of classical risk assessment. Germany. Elsevier.
- 29 Sumitono chemical. (2014) Online: <https://www.sumitomo-chem.co.jp/english/pled/about.html>. Japanese.
- 30 T.E. Graedela & Co (2015). Criticality of metals and metalloids. South Africa.
- 31 Tokio Chemicals Industry TCI & Co. (2018). Online: <https://www.tcichemicals.com/pdf/F2014E.pdf>. Tokio.
- 32 World bank group (2018), Worldwide Governance Indicators (WGI) Project dataset 2016, Online: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>. USA.
- 33 Yang, Y. & Co., (2015). High-efficiency light-emitting devices based on quantum dots with tailored nanostructures. Nature Photonics



## 6 ANEXOS

Nota. Los anexos se muestran en el idioma original

### Anexo 1

#### Inventario LED

Extraído de: Programa Open LCA, Ecoinvent 2.2.

#### Layers LED

Copper, primary, at refinery
Epoxy resin, liquid, at plant
Funnel glass, CRT screen, at plant
Lead, at regional storage
Molybdenum, at regional storage
Nickel, 99.5%, at plant
Pig iron, at plant
Production efforts, diodes
Silicon, electronic grade, at plant
Tin, at regional storage

#	Flow	Flow property	Unit	Amount	Formula
1	Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	Mass	kg	8,32E-02	Al
2	Anhydrite, in ground	Mass	kg	8,61E-06	CaSO <sub>4</sub>
3	Barite, 15% in crude ore, in ground	Mass	kg	9,86E-02	BaSO <sub>4</sub>
4	Basalt, in ground	Mass	kg	2,57E-02	SiO <sub>2</sub>
5	Borax, in ground	Mass	kg	1,70E-06	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
6	Bromine, 0.0023% in water	Mass	kg	1,23E-07	Br bromo
7	Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, In, in ground	Mass	kg	6,41E-06	Cd
8	Calcium carbonate, in ground	Mass	kg	5,79E+00	CaCO <sub>3</sub>
9	Carbon dioxide, in air	Mass	kg	5,86E+00	CO <sub>2</sub>
10	Carbon, in organic matter, in soil	Mass	kg	5,72E-05	C
11	Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	Mass	kg	4,23E-02	Cr
12	Chrysotile, in ground	Mass	kg	4,40E-06	Mg <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub>
13	Cinnabar, in ground	Mass	kg	4,31E-07	HgS
14	Clay, bentonite, in ground	Mass	kg	4,00E-02	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Si
15	Clay, unspecified, in ground	Mass	kg	3,27E+00	-
16	Coal, brown, in ground	Mass	kg	6,29E+01	C <sub>137</sub> H <sub>97</sub> O <sub>9</sub> NS
17	Coal, hard, unspecified, in ground	Mass	kg	3,63E+01	C <sub>240</sub> H <sub>90</sub> O <sub>4</sub> NS
18	Cobalt, in ground	Mass	kg	2,11E-07	Co
19	Colemanite, in ground	Mass	kg	1,88E-03	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub>
20	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Mass	kg	5,07E-03	Cu
21	Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Mass	kg	2,80E-02	Cu
22	Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Mass	kg	7,42E-03	Cu
23	Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Mass	kg	3,00E-01	Cu
24	Diatomite, in ground	Mass	kg	6,68E-09	SiO <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O
25	Dolomite, in ground	Mass	kg	1,11E-02	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
26	Feldspar, in ground	Mass	kg	5,12E-08	SiO <sub>2</sub>
27	Fluorine, 4.5% in apatite, 1% in crude ore, in ground	Mass	kg	1,51E-04	F
28	Fluorine, 4.5% in apatite, 3% in crude ore, in	Mass	kg	6,73E-05	F

	ground				
29	Fluorspar, 92%, in ground	Mass	kg	1,34E+00	CaF <sub>2</sub>
30	Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	Mass	kg	1,05E-09	Ga
31	Gas, mine, off-gas, process, coal mining	Volume	m <sup>3</sup>	3,53E-01	CH <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
32	Gas, natural, in ground	Volume	m <sup>3</sup>	2,71E+01	CH <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
33	Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground	Mass	kg	7,38E-08	Au
34	Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground	Mass	kg	1,35E-07	Au
35	Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground	Mass	kg	1,62E-07	Au
36	Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground	Mass	kg	2,48E-07	Au
37	Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground	Mass	kg	6,14E-08	Au
38	Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground	Mass	kg	1,47E-07	Au
39	Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground	Mass	kg	2,28E-07	Au
40	Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground	Mass	kg	2,57E-07	Au
41	Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Mass	kg	1,54E-08	Au
42	Granite, in ground: 70-77% silica, 11-13% alumina, 3-5% potassium oxide, 3-5% soda, 1% lime, 2-3% total iron	Mass	kg	1,65E-10	Si, Al, K
43	Gravel, in ground	Mass	kg	3,12E+01	C <sub>10</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>4</sub>
44	Gypsum, in ground	Mass	kg	5,67E-04	CaSO. 2H <sub>2</sub> O
45	Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	Mass	kg	1,59E-07	In
46	Iodine, 0.03% in water	Mass	kg	2,94E-08	I <sub>2</sub>
47	Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	Mass	kg	1,95E+00	Fe
48	Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	Mass	kg	6,28E-04	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
49	Kieserite, 25% in crude ore, in ground	Mass	kg	3,05E-06	MgSO. H <sub>2</sub> O
50	Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	Mass	kg	2,71E-02	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
51	Lithium, 0.15% in brine, in ground	Mass	kg	5,00E-10	Li
52	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	Mass	kg	1,96E-02	MgCO <sub>3</sub>
53	Magnesium, 0.13% in water	Mass	kg	2,39E-06	Mg
54	Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	Mass	kg	3,88E-03	Mn <sup>+2</sup>
55	Metamorphous rock, graphite containing, in ground	Mass	kg	6,42E-04	C
56	Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground	Mass	kg	5,57E-03	Mo
57	Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground	Mass	kg	9,75E-05	Mo
58	Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Mass	kg	1,54E-02	Mo
59	Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground	Mass	kg	3,57E-04	Mo
60	Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 4.1E-2% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Mass	kg	3,10E-02	Mo
61	Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground	Mass	kg	4,98E-03	Ni
62	Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	Mass	kg	1,06E-01	Ni
63	Oil, crude, in ground	Mass	kg	1,36E+01	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>
64	Olivine, in ground	Mass	kg	2,94E-06	(Mg <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> ) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>
65	Pd, Paladio, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh, Rodio 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Mass	kg	3,09E-08	Pd, Pt, Rh, Ni, Cu
66	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni	Mass	kg	7,42E-08	Pd, Pt, Rh, Ni,

	2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground				Cu
67	Peat, turba, in ground	Mass	kg	7,36E-04	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
68	Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	Mass	kg	3,10E-04	P
69	Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	Mass	kg	6,02E-04	P
70	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Mass	kg	3,13E-09	Pt,Pd,Rh,Ni,Cu
71	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Mass	kg	1,12E-08	Pt,Pd,Rh,Ni,Cu
72	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Mass	kg	7,79E-10	Rh, Pt,Pd,NI,Cu
73	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Mass	kg	2,44E-09	Rh, Pt,Pd,NI,Cu
74	Rhenium, in crude ore, in ground	Mass	kg	5,16E-10	Re
75	Sand, unspecified, in ground	Mass	kg	6,13E-04	si
76	Shale, in ground	Mass	kg	2,44E-05	quartz & calcite
77	Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground	Mass	kg	3,27E-05	Ag, Pb, Zn, Cd, In
78	Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground	Mass	kg	1,25E-06	Ag, Au, Cu, Te
79	Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground	Mass	kg	1,15E-07	Ag, Au
80	Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground	Mass	kg	2,62E-07	Ag, Au
81	Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground	Mass	kg	2,57E-07	Ag, Au
82	Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Mass	kg	1,70E-07	Ag, Au, Zn, Cu,Pb
83	Sodium chloride, in ground	Mass	kg	3,04E-01	NaCl
84	Sodium nitrate, in ground	Mass	kg	1,72E-10	NaNO <sub>3</sub>
85	Sodium sulphate, various forms, in ground	Mass	kg	1,16E-03	Na <sub>2</sub> S <sub>04</sub>
86	Stibnite, in ground	Mass	kg	6,94E-10	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
87	Sulfur, in ground	Mass	kg	2,86E-04	S
88	Sylvite, 25 % in sylvinite, in ground	Mass	kg	2,37E-02	KCl
89	Talc, in ground	Mass	kg	6,71E-05	H <sub>2</sub> Mg <sub>3</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
90	Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	Mass	kg	1,36E-06	Ta
91	Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground	Mass	kg	1,87E-07	Te
92	Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground	Mass	kg	5,45E-02	Sn
93	TiO <sub>2</sub> , 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground	Mass	kg	6,17E-03	TiO <sub>2</sub>
94	TiO <sub>2</sub> , 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	Mass	kg	1,08E-08	TiO <sub>2</sub>
95	Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground	Mass	kg	1,09E-02	Zn, Pb, Ag, Cd, In
96	Zirconium, Circonio, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	Mass	kg	1,78E-06	ZrSiO <sub>4</sub>

## Anexo 2

### Conteo de materiales y elementos críticos y semi-críticos LED

#### Conteo de materiales y elementos críticos LED

Flow	Fórmula	Conteo materiales	Elemento crítico	Conteo Elementos
Borax, in ground	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	1	B	1
Barite, 15% in crude ore, in ground	BaSO <sub>4</sub>	2	Ba	2
Cobalt, in ground	Co	3	Co	3
Chrysotile, in ground	Mg <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub>	4	Mg	4
Fluorspar, 92%, in ground	CaF <sub>2</sub>	5	F	5
Dolomite, in ground	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6		
Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	Ga	7	Ga	6
Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	In	8	In	7
Kieserite, 25% in crude ore, in ground	MgSO. H <sub>2</sub> O	9		
Magnesite, 60% in crude ore, in ground	MgCO <sub>3</sub>	10		
Magnesium, 0.13% in water	Mg	11		
Olivine, in ground	(Mg <sup>2+</sup> ) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	12		
Pd, Paladio, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh, Rodio 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Pd, Pt, Rh, Ni, Cu	13	Pd	8
Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Pd, Pt, Rh, Ni, Cu	14	Pt	9
Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	P	15	P	10
Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	P	16	Rh	11
Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Pt,Pd,Rh,Ni,Cu	17		
Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Pt,Pd,Rh,Ni,Cu	18		
Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Rh, Pt,Pd,Ni,Cu	19		
Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Rh, Pt,Pd,Ni,Cu	20		
Stibnite, in ground	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	21	Sb	12
Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	Ta	22	Ta	13
<b>Totales</b>		<b>22 materiales</b>		<b>13 elementos</b>

Nota: Como resultado se obtiene que solo la capa de elaboración de Diodos es la vulnerable por elementos críticos para su construcción.

#### Conteo de materiales y elementos Semi-críticos LED

Flow	Formula	Conteo de semi-críticos	Elemento crítico	Conteo elementos
Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	Al	1	Al	1
Barite, 15% in crude ore, in ground	BaSO <sub>4</sub>	2		
Basalt, in ground	SiO <sub>2</sub>	3		
Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	Cr	4	Cr	2
Clay, bentonite, in ground	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Si	5		
Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Cu	6	Cu	3
Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Cu	7		
Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Cu	8		

Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Cu	9		
Diatomite, in ground	SiO <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O	10		
Feldspar, in ground	SiO <sub>2</sub>	11		
Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground	Au	12	Au	4
Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground	Au	13		
Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground	Au	14		
Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground	Au	15		
Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground	Au	16		
Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground	Au	17		
Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground	Au	18		
Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground	Au	19		
Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Au	20		
Gypsum, in ground	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	21		
Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	Fe	22	Fe	5
Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	23		
Kieserite, 25% in crude ore, in ground	MgSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	24		
Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	25	Pb	6
Lithium, 0.15% in brine, in ground	Li	26	Li	7
Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	Mn <sup>+2</sup>	27	Mn	8
Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground	Mo	28	Mo	9
Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground	Mo	29		
Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Mo	30		
Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground	Mo	31		
Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 4.1E-2% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Mo	32		
Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground	Ni	33	Ni	10
Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	Ni	34		
Olivine, in ground	(Fe <sup>2+</sup> ) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	35		
Rhenium, in crude ore, in ground	Re	36	Re	11
Sand, unspecified, in ground	si	37		
Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground	Ag, Pb, Zn, Cd, In	38	Ag	12
Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground	Ag, Au, Cu, Te	39		
Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground	Ag, Au	40		
Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground	Ag, Au	41		
Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground	Ag, Au	42		
Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Ag, Au, Zn, Cu, Pb	43	Zn	13
Sodium sulphate, various forms, in ground	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	44		
Sulfur, in ground	S	45	S	14
Sylvite, 25 % in sylvinitite, in ground	KCl	46	K	15
Talc, in ground	H <sub>2</sub> Mg <sub>3</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	47		
Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground	Te	48	Te	16
Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground	Sn	49		

TiO <sub>2</sub> , 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground	TiO <sub>2</sub>	50	Ti	17
TiO <sub>2</sub> , 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	TiO <sub>2</sub>	51		
Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in grd	Zn, Pb, Ag, Cd, In	52		
Zirconium, Circonio, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	ZrSiO <sub>4</sub>	53		
Basalt, in ground	SiO <sub>2</sub>	54	Si	18
Clay, bentonite, in ground	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Si	55		
Feldspar, in ground	SiO <sub>2</sub>	56		
Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	57		
Clay, unspecified, in ground	SiO <sub>2</sub>	58		
Sand, unspecified, in ground	Si	59		
Zirconium, Circonio, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	ZrSiO <sub>4</sub>	60		
<b>Totales</b>		<b>60 materiales</b>		<b>18 elementos</b>

### Anexo 3

#### Proceso para expresar la unidad funcional LED (Kg/m<sup>2</sup>)

Description OpenLCA	The data represent a typical light emitting diode (LED) for hole-through mounting, used in the information and communication technology. Material data are approximated by using respective information from the dataset “diode, glass-, for through-hole mounting”. Infrastructure and production efforts are based on own assumptions. The dataset represents 1 kg of 5mm LEDs with a weight of 0.35 gram/unit.
---------------------	---

0,35 g	←	1 Und
1000 g	→	2857,14 Unidades LED

1 Unidades LED	←	5 mm
2857,14286 Unidades LED	→	14285,7 mm

Para pasar a una medida de área los mm se considera el diseño de Philips LEXEON para LED<sup>48</sup>, done el chip tiene alrededor de 1mm<sup>2</sup>,

$$5 \text{ mm} * 1 \text{ mm} = 5 \text{ mm}^2$$

<sup>48</sup> Philips (2007). Lighting your path to the future. Online: [https://www.imaps.org/gbc/IMAPS07/GBC1\\_PhilipsLumileds.pdf](https://www.imaps.org/gbc/IMAPS07/GBC1_PhilipsLumileds.pdf). USA

1 Unidades LED	←	5 mm <sup>2</sup>
2857,1428 Unidades LED	→	14285,7143 mm <sup>2</sup>

1000000 mm <sup>2</sup>	←	1 m <sup>2</sup>
14285,71429 mm <sup>2</sup>	→	0,0143 m <sup>2</sup>

Por lo que la conversión a la unidad funcional se obtiene multiplicando la cuarta columna del inventario (Anexo 1) y se divide por 0,0143 y queda expresado en Kg/m<sup>2</sup>

#	Flow	Unit	Amount	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)
1	Borax, in ground	kg	1,70E-06	1,19E-04
2	Barite, 15% in crude ore, in ground	kg	9,86E-02	6,91E+00
3	Cobalt, in ground	kg	2,11E-07	1,48E-05
4	Chrysotile, in ground	kg	4,40E-06	3,08E-04
5	Fluorspar, 92%, in ground	kg	1,34E+00	9,41E+01
6	Dolomite, in ground	kg	1,11E-02	7,80E-01
7	Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	kg	1,05E-09	7,34E-08
8	Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	kg	1,59E-07	1,11E-05
9	Kieserite, 25% in crude ore, in ground	kg	3,05E-06	2,14E-04
10	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	kg	1,96E-02	1,37E+00
11	Magnesium, 0.13% in water	kg	2,39E-06	1,67E-04
12	Olivine, in ground	kg	2,94E-06	2,06E-04
13	Pd, Paladio, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh, Rodio 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	3,09E-08	2,16E-06
14	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	7,42E-08	5,19E-06
15	Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	kg	3,10E-04	2,17E-02
16	Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	kg	6,02E-04	4,22E-02
17	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	3,13E-09	2,19E-07
18	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	1,12E-08	7,84E-07
19	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	7,79E-10	5,45E-08
20	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	2,44E-09	1,71E-07
21	Stibnite, in ground	kg	6,94E-10	4,86E-08
22	Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	kg	1,36E-06	9,51E-05

## Anexo 4

### Peso de los elementos críticos LED

Posterior a determinar los materiales a la unidad funcional ( $\text{Kg/m}^2$ ) se extraen los pesos moleculares de los elementos críticos contenidos en los materiales que los contienen de la siguiente manera:

Cálculo Antimonio LED a la Unidad Funcional ( $\text{Kg/m}^2$ )

Antimonio	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
<b>Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub></b>	339,715	4,86E-05	1,43E-07	1	1
<b>Sb</b>	121,76	3,48E-05	2,86E-07	7,17E-01	4,00E-01
<b>S</b>	32,065	1,38E-05	4,29E-07	2,83E-01	6,00E-01

Flow	Formula	Elemento critico	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Requerimiento Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Antimonio por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Antimonio por m <sup>2</sup> (Kg)
Stibnite, in ground	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Sb	4,8E-08	4,86E-05	3,48E-05	3,48E-08

Cálculo Boro LED a la Unidad Funcional ( $\text{Kg/m}^2$ )

Boro	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
<b>Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub></b>	201,15	1,19E-01	5,91E-04	1,00E+00	1,00E+00
<b>Na</b>	22,99	2,72E-02	1,18E-03	2,29E-01	1,54E-01
<b>B</b>	10,81	2,55E-02	2,36E-03	2,15E-01	3,08E-01
<b>O</b>	15,99	6,61E-02	4,14E-03	5,56E-01	5,38E-01

Flow	Formula	Elemento critico	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Requerimiento Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Boro por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Boro por m <sup>2</sup> (Kg)
Borax, in ground	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	B	1,19E-04	1,19E-01	2,55E-02	2,55E-05

Cálculo Bario LED a la Unidad Funcional ( $\text{Kg/m}^2$ )

Bario	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
<b>BaSO<sub>4</sub></b>	233,391	1,04E+03	4,44E+00	1,00E+00	1,00E+00
<b>Ba</b>	137,33	6,09E+02	4,44E+00	5,88E-01	1,67E-01
<b>S</b>	32,065	1,42E+02	4,44E+00	1,37E-01	1,67E-01
<b>O</b>	15,999	2,84E+02	1,78E+01	2,74E-01	6,67E-01

Flow	Formula	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado por la Concentrac.	Requerimiento BaSO <sub>4</sub> por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Bario por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Bario por m <sup>2</sup> (Kg)
Barite, 15% in crude ore, in ground	BaSO <sub>4</sub>	6,91E+00	1,04E+00	1,04E+03	6,09E+02	6,09E-01



Cálculo Cobalto LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flow	Formula	Materiales	Elementos	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Requerimiento Co por m <sup>2</sup> (Kg)
Cobalt, in ground	Co	critico	Co	1,48E-05	1,48E-05

Cálculo Flúor LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flúor	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
CaF <sub>2</sub>	78,074	8,65E+04	1,11E+03	1,00E+00	1,00E+00
Ca	40,078	4,44E+04	1,11E+03	5,13E-01	3,33E-01
F	18,998	4,21E+04	2,22E+03	4,87E-01	6,67E-01

Formula	Elemento critico	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado por el porcentaje	Requerimiento CaF <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Flúor por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Flúor por m <sup>2</sup> (Kg)
CaF <sub>2</sub>	F	9,41E+01	8,65E+01	8,65E+04	4,21E+04	4,21E+01

Cálculo Galio LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flow	Formula	Elemento critico	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado por la concentración
Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	Ga	Ga	7,34E-08	1,03E-11

Cálculo Indio LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flow	Formula	Elemento critico	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado por la concentración
Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	In	critico	1,11E-05	3,33E-10

Cálculo Magnesio LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Magnesio	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
Mg <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub>	140,911	3,08E-01	2,18E-03	1,92E-04	1,56E-04
CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	184,40	7,80E+02	4,23E+00	4,86E-01	3,02E-01
MgCO <sub>3</sub>	84,31	8,25E+02	9,78E+00	5,14E-01	6,98E-01
Mg	24,305	2,17E-04	8,94E-06	1,35E-07	6,38E-07
MgSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	90,37	5,34E-02	5,91E-04	3,33E-05	4,21E-05
(Mg) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	140,69	2,06E-01	1,46E-03	1,28E-04	1,04E-04
Mg	24,305	3,41E+02	1,40E+01	2,12E-01	1,54E-01
O	15,999	8,76E+02	5,47E+01	5,46E-01	6,00E-01
H	1	9,92E-03	9,92E-03	6,18E-06	1,09E-04
Ca	40,078	1,69E+02	4,23E+00	1,06E-01	4,64E-02
S	32,065	1,89E-02	5,91E-04	1,18E-05	6,47E-06
C	12,011	2,19E+02	1,82E+01	1,36E-01	2,00E-01
Si	28,086	4,11E-02	1,46E-03	2,56E-05	1,60E-05

Flow	Formula	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado por la concentración. m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado la concentración . m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Mg por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Magnesio por m <sup>2</sup> (Kg)
Chrysotile, in ground	Mg <sub>3</sub> (OH) <sub>4</sub>	3,08E-04	3,08E-04	3,08E-01	3,41E+02	3,41E-01
Dolomite, in ground	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	7,80E-01	7,80E-01	7,80E+02		
Magnesite, 60% in crude ore, in grd	MgCO <sub>3</sub>	1,37E+00	8,25E-01	8,25E+02		
Magnesium, 0.13% in water	Mg	1,67E-04	2,17E-07	2,17E-04		
Kieserite, 25% in crude ore, in ground	MgSO. H <sub>2</sub> O	2,14E-04	5,34E-05	5,34E-02		
Olivine, in ground	(Mg <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> ) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	2,06E-04	2,06E-04	2,06E-01		

Cálculo Paladio LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flow	Unit	Amount	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado por la concentración
Pd, Paladio, <b>Pd 2.0E-4%</b> , Pt 4.8E-4%, Rh, Rodio 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	3,0873E-08	2,16E-06	4,32E-12
Pd, <b>Pd 7.3E-4%</b> , Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	7,4193E-08	5,19E-06	3,79E-11
Pt, Pt 2.5E-4%, <b>Pd 7.3E-4%</b> , Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	3,1251E-09	2,19E-07	1,60E-12
Pt, Pt 4.8E-4%, <b>Pd 2.0E-4%</b> , Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	1,1203E-08	7,84E-07	1,57E-12
Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, <b>Pd 7.3E-4%</b> , Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	7,7897E-10	5,45E-08	3,98E-13
Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, <b>Pd 2.0E-4%</b> , Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	2,4398E-09	1,71E-07	3,42E-13
<b>Totales Paladio</b>				<b>4,61398E-11</b>

Cálculo Fosforo LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flow	Formula	Materiales	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)
Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	P	critico	2,17E-02
Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	P	critico	4,22E-02
<b>Totales</b>			<b>6,38E-02</b>

Cálculo Platino LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flow	Unit	Amount	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado por la concentración
Pd, Paladio, Pd 2.0E-4%, <b>Pt 4.8E-4%</b> , Rh, Rodio 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	3,0873E-08	2,161E-06	1,037E-11
Pd, Pd 7.3E-4%, <b>Pt 2.5E-4%</b> , Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	7,4193E-08	5,194E-06	1,298E-11
Pt, <b>Pt 2.5E-4%</b> , Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	3,1251E-09	2,188E-07	5,469E-13
Pt, <b>Pt 4.8E-4%</b> , Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	1,1203E-08	7,842E-07	3,764E-12
Rh, Rh 2.0E-5%, <b>Pt 2.5E-4%</b> , Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	kg	7,7897E-10	5,453E-08	1,363E-13
Rh, Rh 2.4E-5%, <b>Pt 4.8E-4%</b> , Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	kg	2,4398E-09	1,708E-07	8,198E-13
<b>Totales Platino</b>				<b>2,862E-11</b>

Cálculo Rodio LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flow	Elementos	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)	Multiplicado por la concentración
Pd, Paladio, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh, <b>Rodio 2.4E-5%</b> , Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Rh	2,161E-06	5,187E-13
Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, <b>Rh 2.0E-5%</b> , Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Rh	5,194E-06	1,039E-12
Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, <b>Rh 2.0E-5%</b> , Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Rh	2,188E-07	4,375E-14
Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, <b>Rh 2.4E-5%</b> , Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Rh	7,842E-07	1,882E-13
Rh, <b>Rh 2.0E-5%</b> , Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Rh	5,453E-08	1,091E-14
Rh, <b>Rh 2.4E-5%</b> , Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Rh	1,708E-07	4,099E-14
<b>Totales Rodio</b>			<b>1,841E-12</b>

Cálculo Tántalo LED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flow	Formula	Materiales	Requerimiento por m <sup>2</sup> (Kg)
Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	Ta	critico	9,51E-05

## Anexo 5

### Lista de Materiales OLED

Extraida de: Tokio Chemicals Industry TCI & Co. (2018). Online: <https://www.tcichemicals.com/pdf/F2014E.pdf>. Tokio.

Layer	Nombre Material	Formula
Host Materials	9,9'-Bianthryl	C <sub>28</sub> H <sub>18</sub>
	9,10-Diphenylanthracene	C <sub>26</sub> H <sub>18</sub>
	9,10-Diphenylanthracene (purified by sublimation)	The same
	9,10-Bis(4-methoxyphenyl)-anthracene	C <sub>28</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>
	9,10-Di(1-naphthyl)anthracene	C <sub>34</sub> H <sub>22</sub>
	9,10-Di(1-naphthyl)anthracene (purified by sublimation)	The same
	9-(1-Naphthyl)-10-(2-naphthyl)anthracene	C <sub>34</sub> H <sub>22</sub>
	9,10-Di(2-naphthyl)anthracene	C <sub>34</sub> H <sub>22</sub>
	9,10-Di(2-naphthyl)anthracene (purified by sublimation)	C <sub>34</sub> H <sub>22</sub>
	2-Methyl-9,10-di(2-naphthyl)-anthracene	C <sub>35</sub> H <sub>24</sub>
	9,9',10,10'-Tetraphenyl-2,2'-bianthracene	C <sub>28</sub> H <sub>16</sub>
	1,3,5-Tri(1-naphthyl)benzene	C <sub>36</sub> H <sub>24</sub>
	DPVBi	C <sub>40</sub> H <sub>30</sub>
	DPVBi (purified by sublimation)	The same
	1,4-Di(1-pyrenyl)benzene	C <sub>38</sub> H <sub>22</sub>
	2,7-Di(1-pyrenyl)-9,9'-spirobi[9H-fluorene]	C <sub>57</sub> H <sub>32</sub>
	9,9-Bis[4-(1-pyrenyl)-phenyl]fluorene	C <sub>29</sub> H <sub>26</sub> O <sub>4</sub>
	TSBF	C <sub>75</sub> H <sub>44</sub>
	1,3-Di-9-carbazolylbenzene (purified by sublimation)	C <sub>30</sub> H <sub>20</sub>

	2,6-Bis(9H-carbazol-9-yl)-pyridine	$C_{41}H_{27}N_3$
	mCBP	$C_{36}H_{24}N_2$
	CBP	$C_{36}H_{24}N_2$
	CBP (purified by sublimation)	The same
	CDBP	$C_{38}H_{28}N_2$
	3,3''-Di(9H-carbazol-9-yl)-1,1':3',1''-terphenyl	$C_{42}H_{28}N_2$
	DCzPPy	$C_{41}H_{27}N_3$
	9,9'-Diphenyl-9H,9'H-3,3'-bicarbazole	$C_{36}H_{24}N_2$
	1,3,5-Tri(9H-carbazol-9-yl)-benzene (purified by sublimation)	$C_{42}H_{27}N_3$
	TCTA	$C_{54}H_{36}N_4$
	TCTA (purified by sublimation)	The same
	9-Phenyl-3,6-bis[4-(1-phenylbenzimidazol-2-yl)-phenyl]carbazole	$C_{56}H_{37}N_5$
	Poly(N-vinylcarbazole)	$C_{14}H_{11}N$
	2-(9,9'-Spirobi[fluoren]-2-yl)-4,6-diphenyl-1,3,5-triazine	$C_{40}H_{25}N_3$
	4-(1-Naphthyl)-3,5-diphenyl-1,2,4-triazole	$C_{24}H_{17}N_3$
	9-[3-(Dibenzofuran-2-yl)-phenyl]-9H-carbazole	$C_{30}H_{19}NO$
	DCzDBT	$C_{36}H_{22}N_2S$
	CZBDF	$C_{58}H_{36}N_2O_2$
	DPEPO	$C_{36}H_{28}O_3P_2$
	DPEPO (purified by sublimation)	The same
	2,8-Bis(diphenylphosphoryl)-dibenzo[b,d]furan	$C_{36}H_{26}O_3P_2$
	Alq3	$C_{27}H_{18}AlN_3O_3$
	Alq3(purified by sublimation)	The same
Hole Transport Materials	N,N,N',N'-Tetraphenyl-1,4-phenylenediamine	$C_{30}H_{24}N_2$
	N,N'-Diphenyl-N,N'-bis(ptolyl)-1,4-phenylenediamine	$C_{32}H_{28}N_2$
	N,N'-Diphenyl-N,N'-di(m-tolyl)-1,4-phenylenediamine	$C_{32}H_{28}N_2$
	N,N'-Di(2-naphthyl)-N,N'-diphenyl-1,4-phenylenediamine	$C_{26}H_{20}N_2$
	TPB	$C_{36}H_{28}N_2$
	TPB (purified by sublimation)	The same
	TPD	$C_{38}H_{32}N_2$
	TPD (purified by sublimation)	The same
	N,N'-Diphenyl-N,N'-di(p-tolyl)-benzidine	$C_{38}H_{32}N_2$
	N,N,N',N'-Tetrakis(p-tolyl)-benzidine	$C_{40}H_{36}N_2$
	N,N,N',N'-Tetrakis(p-tolyl)-benzidine (purified by sublimation)	The same
	N,N'-Bis(4-methoxy-2-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidine	$C_{40}H_{36}N_2O_2$
	N,N'-Bis(4-methoxy-2-methylphenyl)-N,N'-diphenylbenzidine(purified by sublimation)	The same
	MeO-TPD	$C_{40}H_{36}N_2O_4$
	N,N'-Di(4-biphenyl)-N,N'-diphenylbenzidine	$C_{48}H_{36}N_2$
	N,N,N',N'-Tetrakis(4-biphenyl)benzidine	$C_{60}H_{44}N_2$
	N,N'-Di-2-naphthyl-N,N'-diphenylbenzidine	$C_{44}H_{32}N_2$
	N,N'-Di-1-naphthyl-N,N'-diphenylbenzidine	$C_{44}H_{32}N_2$
	N,N'-Di-1-naphthyl-N,N'-diphenylbenzidine (purified by sublimation)	The same
	N,N'-Di-1-naphthyl-N,N'-di-2-naphthylbenzidine	$C_{44}H_{32}N_2$

N,N,N',N'-Tetra(2-naphthyl)-benzidine	$C_{52}H_{36}N_2$
N,N'-Di(9-phenanthrenyl)-N,N'-diphenylbenzidine	$C_{52}H_{36}N_2$
N,N'-Bis(9,9-dimethyl-9H-fluoren-2-yl)-N,N'-diphenylbenzidine	$C_{54}H_{44}N_2$
N,N'-Bis[4-(diphenylamino)-phenyl]-N,N'-di(1-naphthyl)-benzidine	$C_{68}H_{50}N_4$
TPTE	$C_{72}H_{56}N_4$
3,3'-Bis[di(p-tolyl)amino]-biphenyl	$C_{56}H_{48}N_2$
N,N,N',N'-Tetraphenyl[1,1':4',1'':4'',1''':4''',1''''-quaterphenyl]-4,4'''-diamine	$C_{48}H_{36}N_2$
TAPC	$C_{46}H_{46}N_2$
TAPC (purified by sublimation)	The same
DMFL-NPB	$C_{47}H_{36}N_2$
DMFL-TPD	$C_{41}H_{36}N_2$
DPFL-NPB	The same
2,7-Bis[N-(m-tolyl)anilino]-9,9'-spirobi[9H-fluorene]	$C_{51}H_{38}N_2$
2,7-Bis[N,N-bis(4-methoxyphenyl)amino]-9,9'-spirobi[9H-fluorene]	$C_{53}H_{42}N_2O_4$
2,7-Bis[N-(1-naphthyl)-anilino]-9,9'-spirobi[9Hfluorene]	$C_{57}H_{38}N_2$
9,9-Bis[4-[N-(1-naphthyl)-anilino]phenyl]fluorene	$C_{57}H_{40}N_2$
9,9-Bis[4-[di(2-naphthyl)-amino]phenyl]fluorene	$C_{65}H_{44}N_2$
9-Ethyl-3-(N-methyl-N-phenylhydrazonomethyl)carbazole	$C_{22}H_{21}N_3$
3-(Diphenylhydrazonomethyl)-9-ethylcarbazole	$C_{27}H_{23}N_3$
9-Ethyl-3-(N-benzyl-N-phenylhydrazonomethyl)carbazole	$C_{28}H_{25}N_3$
N,N-Bis(9,9-dimethyl-9H-fluoren-2-yl)aniline	$C_{54}H_{44}N_2$
Tris(4-biphenyl)amine	$C_{36}H_{27}N$
Tris(4-biphenyl)amine(purified by sublimation)	The same
Tris[4-(2-thienyl)phenyl]amine	$C_{30}H_{21}NS_3$
Tris[4'-(2-thienyl)-4-biphenyl]amine	$C_{48}H_{33}NS_3$
4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]-4''-phenyltriphenylamine	$C_{56}H_{41}N_3$
4,4'-Bis[di(3,5-xylyl)amino]-4''-phenyltriphenylamine	$C_{56}H_{53}N_3$
TDATA	$C_{54}H_{42}N_4$
m-MTDATA	$C_{57}H_{48}N_4$
2-TNATA	$C_{66}H_{48}N_4$
1,3,5-Tris[4-(diphenylamino)phenyl]benzene	$C_{42}H_{33}N_3$
1,3,5-Tris[4-[bis(4-methoxyphenyl)-amino]phenyl]benzene	$C_{24}H_{21}N_3$
1,3,5-Tris[4-(9-carbazolyl)-phenyl]benzene	$C_{42}H_{27}N_3$
HN-D1	$C_{36}H_{20}N_2O_4$
HN-D2	$C_{36}H_{20}N_2O_4$
2,6-Diphenylbenzo[1,2-b:4,5-b']difuran	$C_{22}H_{14}O_2$
10,15-Dihydro-5,5,10,10,15,15-hexamethyl-5H-tribenzo[a,f,k]trindene	$C_{33}H_{30}$
1,3,5-Tris(4'-fluorobiphenyl-4-yl)benzene	$C_{42}H_{27}F_3$
Copper Phthalocyanine	$C_{32}H_{16}CuN_8$
Copper(II) Phthalocyanine( $\alpha$ -form)	$C_{32}H_{16}CuN_8$
Copper(II) Phthalocyanine( $\beta$ -form)	$C_{32}H_{16}CuN_8$
Copper Phthalocyanine(purified by sublimation)	The same
Phthalocyanine Chloroaluminum	$C_{32}H_{16}AlClN_8$

	Cobalt(II) Phthalocyanine	$C_{32}H_{16}CoN_8$
	Tin(IV) Phthalocyanine Dichloride	$C_{32}H_{16}Cl_2N_8Sn$
	TiOPc (purified by sublimation)	$C_{32}H_{16}N_8OTi$
	Cobalt(II) Phthalocyanine(purified by sublimation)	The same
Electron Transport Materials	1,2,3,4-Tetraphenyl-1,3-cyclopentadiene	$C_{29}H_{22}$
	1,2,3,4-Tetraphenyl-1,3-cyclopentadiene(purified by sublimation)	The same
	1,2,3,4,5-Pentaphenyl-1,3-cyclopentadiene	$C_{35}H_{26}$
	Bathophenanthroline	$C_{24}H_{16}N_2$
	Bathophenanthroline(purified by sublimation)	The same
	Bathocuproine	$C_{26}H_{20}N_2$
	Bathocuproine(purified by sublimation)	The same
	2,4,6-Triphenyl-1,3,5-triazine	$C_{21}H_{15}N_3$
	2,4,6-Triphenyl-1,3,5-triazine (purified by sublimation)	The same
	2,4,6-Tri([1,1'-biphenyl]-4-yl)1,3,5-triazine	$C_{39}H_{27}N_3$
	2,4,6-Tri(9H-carbazol-9-yl)-1,3,5-triazine (purified by sublimation)	The same
	4,4'-Bis(4,6-diphenyl-1,3,5-triazin-2-yl)biphenyl (This product is unavailable in the U.S.)	$C_{42}H_{28}N_6$
	TPBi	$C_{45}H_{30}N_6$
	3,5-Di(1-pyrenyl)pyridine	$C_{37}H_{21}N$
	2,5-Diphenyl-1,3,4-oxadiazole	$C_{14}H_{10}N_2O$
	2,5-Di(1-naphthyl)-1,3,4-oxadiazole	$C_{22}H_{14}N_2O$
	PBD	$C_{24}H_{22}N_2O$
	PBD (purified by sublimation)	The same
	2,5-Bis(5-tert-butyl-2-benzoxazolyl)thiophene	$C_{26}H_{26}N_2O_2S$
	OXD-7	$C_{30}H_{30}N_4O_2$
	2,5-Bis(5-tert-butyl-2-benzoxazolyl)thiophene(purified by sublimation)	$C_{26}H_{26}N_2O_2S$
	(8-Quinolinolato)lithium	$C_9H_6LiNO$
	2,5-Bis(2,2'-bipyridin-6-yl)-1,1-dimethyl-3,4-diphenylsilole	$C_{38}H_{30}N_4Si$
4,4'-Bis(5-methyl-2-benzoxazolyl)stilbene	$C_{30}H_{22}N_2O_2$	
4,4'-Bis(5-methyl-2-benzoxazolyl)stilbene (purified by sublimation)	The same	
Blue Dopants	Perylene	$C_{24}H_{16}$
	Perylene (purified by sublimation)	The same
	2,5,8,11-Tetra-tert-butylperylene	$C_{36}H_{44}$
	1,3,6,8-Tetraphenylpyrene	$C_{40}H_{26}$
	3-DPADBC	$C_{38}H_{25}N$
	4-Styryltriphenylamine	$C_{26}H_{21}N$
	1,4-Bis[2-(9-ethylcarbazol-3-yl)vinyl]benzene	$C_{38}H_{32}N_2$
	N,N,N',N'-Tetraphenyl-[1,1':4',1'':4'',1'''-quaterphenyl]-4,4'''-diamine	$C_{48}H_{36}N_2$
	1,4-Bis[4-(di-p-tolylamino)-styryl]benzene	$C_{50}H_{44}N_2$
	4,4'-Bis[4-(di-p-tolylamino)-styryl]biphenyl	$C_{56}H_{48}N_2$
	TPB	$C_{28}H_{22}$
	1,2,3,4-Tetraphenyl-1,3-cyclopentadiene	$C_{29}H_{22}$
	1,2,3,4-Tetraphenyl-1,3-cyclopentadiene(purified by sublimation)	The same

	1,2,3,4,5-Pentaphenyl-1,3-cyclopentadiene	$C_{35}H_{26}$
Green Dopants	Quinacridone	$C_{20}H_{12}N_2O_2$
	Quinacridone (purified by sublimation)	The same
	N,N'-Dimethylquinacridone	$C_{22}H_{16}N_2O_2$
	N,N'-Dimethylquinacridone (purified by sublimation)	The same
	N,N'-Dibutylquinacridone	$C_{22}H_{16}N_2O_2$
	2,6-Bis(diphenylamino)-anthraquinone	$C_{38}H_{26}N_2O_2$
	9,10-Bis[N-(m-tolyl)anilino]-anthracene	$C_{40}H_{32}N_2$
	9,10-Bis[N-(p-tolyl)anilino]-anthracene	$C_{40}H_{32}N_2$
	9,10-Bis[N,N-di(p-tolyl)-amino]anthracene	$C_{42}H_{36}N_2$
	9,10-Bis[N-(2-naphthyl)-anilino]anthracene	$C_{46}H_{32}N_2$
	7-(Dimethylamino)-4-(trifluoromethyl)coumarin	$C_{12}H_{10}F_3NO_2$
	7-(Diethylamino)-4-(trifluoromethyl)coumarin	$C_{14}H_{14}F_3NO_2$
	Coumarin 153	$C_{16}H_{14}F_3NO_2$
	3-(2-Benzimidazolyl)-7-(diethylamino)coumarin	$C_{20}H_{19}N_3O_2$
	7-(Diethylamino)-3-(1-methyl-2-benzimidazolyl)coumarin	$C_{21}H_{21}N_3O_2$
	3-(2-Benzothiazolyl)-7-(diethylamino)coumarin	$C_{21}H_{18}N_2O_4S$
	Coumarin 545	$C_{22}H_{18}N_2O_2$
	Coumarin 545T	$C_{26}H_{26}N_2O_2S$
	Bis(8-quinolinolato)zinc(II) Hydrate	$C_{18}H_{12}N_2O_2Zn \cdot xH_2O$
	Bis[2-(2-benzoxazolyl)-phenolato]zinc(II)	$C_{26}H_{16}N_2O_4Zn$
Bis[2-(2-benzothiazolyl)-phenolato]zinc(II)	$C_{26}H_{16}N_2O_2S_2Zn$	
Tris(2-phenylpyridinato)-iridium(III) (purified by sublimation)	$C_{33}H_{24}IrN_3$	
2,2'-Bipyridine)bis(2-phenylpyridinato)iridium(III) Hexafluorophosphate	$C_{32}H_{24}F_6IrN_4P$	
(4,4'-Di-tert-butyl-2,2'-bipyridine)-bis[(2-pyridinyl)phenyl]iridium(III) Hexafluorophosphate	$C_{40}H_{40}F_6IrN_4P$	
(2,2'-Bipyridine)bis[2-(2,4-difluoro-phenyl)pyridine]-iridium(III) Hexafluorophosphate	$C_{32}H_{20}F_{10}IrN_4P$	
Tris(acetylacetonato)-(1,10-phenanthroline)-terbium(III)	$C_{27}H_{29}N_2O_6Tb$	
Red Dopants	Rubrene	$C_{42}H_{28}$
	Rubrene (purified by sublimation)	The same
	DCM	$C_{19}H_{17}N_3O$
	DCM 2	$C_{23}H_{21}N_3O$
	DCJTB	$C_{30}H_{35}N_3O$
	Ir(piq)3 (purified by sublimation)	$C_{45}H_{30}IrN_3$
	Tris(acetylacetonato)(1,10-phenanthroline)-europium(III)	$C_{27}H_{29}EuN_2O_6$
	Tris(1,3-diphenyl-1,3-propanedionato)(1,10-phenanthroline)-europium(III)	$C_{57}H_{41}EuN_2O_6$
	Eu(TTA)3phen	$C_{36}H_{20}EuF_9N_2O_6S_3$
	Tris(1,10-phenanthroline)-ruthenium(II) Bis(hexafluorophosphate)	$C_{36}H_{24}F_{12}N_6P_2Ru$

## Anexo 6

### Conteo materiales y elementos críticos y semi-críticos OLED

#### Conteo de materiales y elementos críticos OLED

Materiales	#	Formula	Elemento crítico	#
DPEPO	1	$C_{36}H_{28}O_3P_2$	P	1
2,8-Bis(diphenylphosphoryl)-dibenzo[b,d]furan	2	$C_{36}H_{26}O_3P_2$	P	
1,3,5-Tris(4'-fluorobiphenyl-4-yl)benzene	3	$C_{42}H_{27}F_3$	F	2
Cobalt(II) Phthalocyanine	4	$C_{32}H_{16}CoN_8$	Co	3
7-(Dimethylamino)-4-(trifluoromethyl)coumarin	5	$C_{12}H_{10}F_3NO_2$	F	
7-(Diethylamino)-4-(trifluoromethyl)coumarin	6	$C_{14}H_{14}F_3NO_2$	F	
Coumarin 153	7	$C_{16}H_{14}F_3NO_2$	F	
Tris(2-phenylpyridinato)-iridium(III) (purified by sublimation)	8	$C_{33}H_{24}IrN_3$	Ir	4
2,2'-Bipyridine)bis(2-phenylpyridinato)iridium(III) Hexafluorophosphate	9	$C_{32}H_{24}F_6IrN_4P$	Ir	
(4,4'-Di-tert-butyl-2,2'-bipyridine)-bis[(2-pyridinyl)phenyl]iridium(III) Hexafluorophosphate	10	$C_{40}H_{40}F_6IrN_4P$	Ir	
(2,2'-Bipyridine)bis[2-(2,4-difluoro-phenyl)pyridine]-iridium(III) Hexafluorophosphate	11	$C_{32}H_{20}F_{10}IrN_4P$	Ir	
Tris(acetylacetonato)-(1,10-phenanthroline)-terbium(III)	12	$C_{27}H_{29}N_2O_6Tb$	Tb	5
Tris(acetylacetonato)(1,10-phenanthroline)-europium(III)	13	$C_{27}H_{29}EuN_2O_6$	Eu	6
Tris(1,3-diphenyl-1,3-propanedionato)(1,10-phenanthroline)-europium(III)	14	$C_{57}H_{41}EuN_2O_6$	Eu	
Eu(TTA)3phen	15	$C_{36}H_{20}EuF_9N_2O_6S_3$	Eu y F	
Tris(1,10-phenanthroline)-ruthenium(II) Bis(hexafluorophosphate)	16	$C_{36}H_{24}F_{12}N_6P_2Ru$	F, P, Ru	7
<b>Totales</b>	16			7

Nota: Se puede observar que las capas afectadas por materiales críticos son 4: Host Materials, Hole Transport Materials, Green Dopants y Red Dopants.

#### Conteo materiales y elementos semicríticos OLED

Material	#	Formula	Elementos	#
2,5-Bis(2,2'-bipyridin-6-yl)-1,1-dimethyl-3,4-diphenylsilole	1	$C_{38}H_{30}N_4Si$	Si	1

## Anexo 7

### Inventario QDLED

**Extraído de:** Scalbi, S., Fantin, V., & Antolini, F. (2017). Environmental assessment of new technologies: Production of a Quantum Dots-Light Emitting Diode. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3702–3718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.098>

Parameters	Data Source	Layer
Indio	RER: ITO sintered target at plant	Materials for QD-LED anode (ITO Glass)
Tin: Estaño		
Cu (40%)		
Glass		



Ag. Plata	RER: silver, at regional storage [Benefication]	Cathode	
Al	RER: cathode, aluminium electrolysis [Benefication]		
Ca	Calcium [Non renewable elements]		
PEDOT	RER: polystyrene, high impact, HIPS, at plant	Other Layers	
Cover Glass	RER: flat glass coated, at plant construction		
Auxiliary material for equipment cleaning Toluene	RER: toluene, liquid, at plant		
Isopropanol	RER: isopropanol, at plant		
Epoxi resin	RER: epoxy resin, liquid, at plant monomers		
Soap	RER: soap, at plant [Surfactants (tensides)]		
n-BuLi	GLO: lithium, at plant		Monomer 1
2-bromo-9,9-dimethylfluorene	RER: alkylbenzene, linear, at plant		
2-isopropoxy-4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaboro-lane	GLO: trimethyl borate, at plant		
THF ( Volumen )	RER: tetrahydrofuran, at plant		
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid (Volumen)	Trifluoromethane, at plant		
Water (Volumen)	Deionised water, at plant		
Dicloromethane (Volumen)	Dichloromethane, at plant		
Solvent waste -hazardous waste	CH: disposal, solvents mixture, 16.5% water, to hazardous waste incineration [hazardous waste incineration]		
9,9-dymethylfluorene-2-(4,4,5,5tetramethyl 1,3,2-dioxaborolane	Monomer 1-PME 124	Monomer 2	
1,4-dibromo-2,3,5,6-tetrafluorobenzene	RER: o-dichlorobenzene, at plant		
tetrakis(triphenylphosphino)Pd(0)	RER: palladium, at regional storage		
Toluene (volumen)	RER: toluene, liquid, at plant		
n-butanol (vol)	RER: butanol, 1-, at plant		
Water (voll)	RER: deionised water, at plant		
Chloridc acid 30% (vol)	RER: hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant		
Chloroform (vol)	RER: trichloromethane, at plant		
Silica gel	RER: sodium silicate, spray powder 80%, at plant [inorganics] is used instead of silica gel		
n-hexane (vol)	Hexane organic		
Solvent waste -hazourd waste	CH: disposal, solvents mixture, 16.5% water, to hazardous waste incineration [hazardous waste incineration]	Polymer PME 124	
n-metylisatin	RER: nitrobenzene, at plant- assimilation		
1,4-bis (9,9-di-methylfluren-2-yl)-2,3,5,6-tetrafluorobenzene	Monomer 2		
Dicloromethane (vol)	Dichloromethane, at plant		
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid(vol)	Trifluoromethane, at plant		
Methanol (vol)	CH: methanol, at regional storage organics		
Solvent waste -hazardous waste	CH: disposal, solvents mixture, 16.5% water, to hazardous waste incineration [hazardous waste incineration]		
Cadmium chloride	US: cadmium chloride, semiconductor-grade, at plant [Benefication]	Precursor (PR04) CdS QDs	
Ethylxanthate	Potassium Ethylxanthate		
Water deionised (vol)	CH: water, deionised, at plant [Appropriation		
Trichloromethane (vol)	RER: trichloromethane, at plant [organics]		
Hexane (vol)	RER: hexane, at plant [organics]		

## Anexo 8

### Conteo de elementos y materiales críticos y semicríticos para QDLED

#### Conteo de elementos críticos QDLED

Material Critico	Capa	Conteo materiales	Formula	Elementos	Conteo elementos
Indio	ITO glass	1	In	In	1
2-isopropoxy-4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaboro-lane	Monomer 1	2	C <sub>3</sub> H <sub>9</sub> BO <sub>3</sub>	B	2
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid (Volumen)		3	CHF <sub>3</sub>	F	3
1,4-dibromo-2,3,5,6-tetrafluorobenzene	Monomer 2	4	Br <sub>2</sub> C <sub>6</sub> F <sub>4</sub>	F	
tetrakis(triphenylphosphino)Pd(0)		5	Pd(PPh <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	Pd	4
tetrakis(triphenylphosphino)Pd(0)		5	Pd(PPh <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	P	5
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid(vol)	Polymer 124	6	CHF <sub>3</sub>	F	
<b>Totales</b>		<b>6</b>			<b>5</b>

#### Conteo de elementos semicríticos QDLED

Material Semicritico	Conteo materiales	Formula	Elementos	Conteo elementos
Tin: Estaño	1	Sn	Sn	1
Cu (40%)	2	Cu	Cu	2
Ag. Plata	3	Ag	Ag	3
Al	4	Al	Al	4
n-BuLi	5	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> Li	Li	5
2-bromo-9,9-dimethylfluorene	6	Br.C <sub>18</sub> H <sub>29</sub> NaO <sub>3</sub> S	S	6
Cover Glass	7	SiO <sub>4</sub>	Si	7
Silica gel	8	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Si	Si	
<b>Totales</b>	<b>8</b>			<b>7</b>

## Anexo 9

### Listas comparativas para conteo de materiales críticos y semi-críticos

#### Lista comparativa de Materiales críticos

Conteo	Materiales críticos	LED	OLED	QDLED
1	Barite, 15% in crude ore, in ground	x		
2	Borax, in ground	x		
3	Chrysotile, in ground	x		
4	Cobalt, in ground	x		
5	Dolomite, in ground	x		
6	Fluorspar, 92%, in ground	x		
7	Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	x		
8	Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	x		
9	Kieserite, 25% in crude ore, in ground	x		
10	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	x		

11	Magnesium, 0.13% in water	x		
12	Olivine, in ground	x		
13	Pd, Paladio, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh, Rodio 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	x		
14	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	x		
15	Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	x		
16	Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	x		
17	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	x		
18	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	x		
19	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	x		
20	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	x		
21	Stibnite, in ground	x		
22	Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	x		
23	DPEPO		x	
24	2,8-Bis(diphenylphosphoryl)-dibenzo[b,d]furan		x	
25	1,3,5-Tris(4'-fluorobiphenyl-4-yl)benzene		x	
26	Cobalt(II) Phthalocyanine		x	
27	7-(Dimethylamino)-4-(trifluoromethyl)coumarin		x	
28	7-(Diethylamino)-4-(trifluoromethyl)coumarin		x	
29	Coumarin 153		x	
30	Tris(2-phenylpyridinato)-iridium(III) (purified by sublimation		x	
31	2,2'-Bipyridine)bis(2-phenylpyridinato)iridium(III) Hexafluorophosphate		x	
32	(4,4'-Di-tert-butyl-2,2'-bipyridine)- bis[(2-pyridinyl)phenyl]iridium(III) Hexafluorophosphate		x	
33	(2,2'-Bipyridine)bis[2-(2,4-difluoro-phenyl)pyridine]-iridium(III) Hexafluorophosphate		x	
34	Tris(acetylacetonato)-(1,10-phenanthroline)-terbium(III)		x	
35	Tris(acetylacetonato)(1,10-phenanthroline)-europium(III)		x	
36	Tris(1,3-diphenyl-1,3-propanedionato)(1,10-phenanthroline)-europium(III)		x	
37	Eu(TTA)3phen		x	
38	Tris(1,10-phenanthroline)-ruthenium(II) Bis(hexafluorophosphate		x	
39	Indio			x
40	2-isopropoxy-4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaboro-lane			x
41	TFSA-trifluoromethanesulfonic acid (Volumen)			x
42	1,4-dibromo-2,3,5,6-tetrafluorobenzene			x
43	TFSA-trifluoromethanesulfonic acid(vol)			x
44	tetrakis(triphenylphosphino)Pd(0)			x
<b>TOTAL DE MATERIALES CRITICOS</b>		<b>22</b>	<b>16</b>	<b>6</b>

Lista comparativa de Materiales semicríticos

Conteo	Materiales Semicríticos	LED	OLED	QDLED
1	Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	x		
2	Barite, 15% in crude ore, in ground	x		
3	Basalt, in ground	x		
4	Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	x		
5	Clay, bentonite, in ground	x		
6	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	x		
7	Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	x		
8	Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	x		
9	Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	x		

10	Diatomite, in ground	x		
11	Feldspar, in ground	x		
12	Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground	x		
13	Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground	x		
14	Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground	x		
15	Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground	x		
16	Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground	x		
17	Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground	x		
18	Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground	x		
19	Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground	x		
20	Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	x		
21	Gypsum, in ground	x		
22	Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	x		
23	Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	x		
24	Kieserite, 25% in crude ore, in ground	x		
25	Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	x		
26	Lithium, 0.15% in brine, in ground	x		
27	Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	x		
28	Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground	x		
29	Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground	x		
30	Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	x		
31	Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground	x		
32	Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 4.1E-2% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	x		
33	Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground	x		
34	Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	x		
35	Olivine, in ground	x		
36	Rhenium, in crude ore, in ground	x		
37	Sand, unspecified, in ground	x		
38	Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground	x		
39	Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground	x		
40	Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground	x		
41	Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground	x		
42	Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground	x		
43	Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	x		
44	Sodium sulphate, various forms, in ground	x		
45	Sulfur, in ground	x		
46	Sylvite, 25 % in sylvinite, in ground	x		
47	Talc, in ground	x		
48	Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground	x		
49	Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground	x		
50	TiO <sub>2</sub> , 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground	x		
51	TiO <sub>2</sub> , 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	x		

52	Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground	x		
53	Zirconium, Circonio, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	x		
54	Basalt, in ground	x		
55	Clay, bentonite, in ground	x		
56	Feldspar, in ground	x		
57	Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	x		
58	Olivine, in ground	x		
59	Sand, unspecified, in ground	x		
60	Zirconium, Circonio, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	x		
61	2,5-Bis(2,2'-bipyridin-6-yl)-1,1-dimethyl-3,4-diphenylsilole		x	
62	Tin: Estaño			x
63	Cu (40%)			x
64	Ag. Plata			x
65	Al			x
66	n-BuLi			x
67	2-bromo-9,9-dimethylfluorene			x
68	Cover Glass			x
69	Silica gel			x
<b>TOTALES INSUMOS SEMICRITICOS</b>		<b>60</b>	<b>1</b>	<b>8</b>

## Anexo 10

### Proceso para expresar inventario a la unidad funcional

**Inventario extraído de:** Simona Scalbi (2016). Environmental assessment of new technologies: production of a Quantum Dots Light Emitting Diode. Italy. El sevier.

El proceso se divide en varias explicaciones: debido a que el inventario va da varios porcentajes y cantidades según las capas, por lo que se ve pertinente hacer una explicación para conformación de:

1. Ánodo
2. Cátodo y otras capas
3. Proporción polímero-precursor
4. Polímero PME 124
5. Monómero 2
6. Monómero 1

Por último se presenta la lista de materiales utilizados en QDLED expresados en la Unidad funcional (Kg/m<sup>2</sup>).

- Ánodo

En la siguiente tabla se muestra la conversión desde  $g/4cm^2$ , expresión del inventario original en el artículo *Environmental assessment of new technologies: production of a Quantum Dots-Light Emitting Diode* hasta la unidad funcional utilizada en este estudio  $kg/m^2$ .

Cálculos para determinar la unidad Funcional al ánodo

Parameters	Dato (g) según pag. 3709	% según pág. 3711 escenario 3	g	Proporción <sup>49</sup> para determinar g de las unidades de volumen ( $g/cm^3$ )	% en peso	Dato (g)	Cantidad en gramos para la unidad funcional ( $g/4cm^2$ )	Cantidad. Quantity ( $g/m^2$ )	Cantidad. Quantity ( $kg/m^2$ )
Indio (ITO)	2,5	20	0,5	90% en peso	54%	0,27	2,70E-01	6,75E+02	6,75E-01
Tin (ITO)				10% en peso	6%	0,03	3,00E-02	7,50E+01	7,50E-02
Cu (40%)				Página 3708	40%	0,2	2,00E-01	5,00E+02	5,00E-01
Glass		80	2				2	5,00E+03	5,00E+00

- Cátodo y otras capas

Cálculos I. para determinar Unidad funcional al Cátodo y otras capas

Parameters	Data Source	Dato	Und.	Densidad para determinar g de las unidades de volumen ( $g/cm^3$ )	Dato (g)	Utilizado en el proceso de
Ag. Plata	RER: silver, at regional storage [Benefication]	0,16	g	-	0,04	Cathode
Al	RER: cathode, aluminium electrolysis [Benefication]	0,05	g	-	0,0125	
Ca	Calcium [Non renewable elements]	0,05	g	-	0,0125	
PEDOT	RER: polystyrene, high impact, HIPS, at plant	1	ml	1,04	1,04	Otras capas
Cover Glass	RER: flat glass coated, at plant construction	0,17	g	-	0,17	
Auxiliary material for equipment cleaning Toluene	RER: toluene, liquid, at plant	1	ml	0,867	0,867	
Isopropanol	RER: isopropanol, at plant organics	3,14	g	-	3,14	
Epoxy resin	RER: epoxy resin, liquid, at plant monomers	0,005	g	-	0,005	
Soap	RER: soap, at plant [Surfactants (tensides)]	0,005	g	-	0,005	

Cálculos II. Para determinar Unidad funcional al cátodo y otras capas

Layer	% en peso	Cantidad en gramos para la unidad funcional ( $g/4cm^2$ )	Cantidad. Quantity ( $g/m^2$ )	Cantidad. Quantity ( $kg/m^2$ )
Cathode	100%	4,00E-02	1,00E+02	1,00E-01
		1,25E-02	3,13E+01	3,13E-02
		1,25E-02	3,13E+01	3,13E-02

<sup>49</sup> Lison D. 2009. Sintered indium-tin-oxide (ITO) particles: a new pneumotoxic entity. Toxicol Sci.

Otras capas	100%	1,04E+00	2,60E+03	2,60E+00
	100%	1,70E-01	4,25E+02	4,25E-01
	100%	8,67E-01	2,17E+03	2,17E+00
	100%	3,14E+00	7,85E+03	7,85E+00
	100%	5,00E-03	1,25E+01	1,25E-02
	100%	5,00E-03	1,25E+01	1,25E-02

- Proporción Polímero – Precursor

Para lograr el objetivo de la expresión de la unidad funcional en Kg, se determinó primero la densidad de los elementos que el inventario mostraba en soluciones líquidas, la densidad de los elementos se extrajeron de bibliografía de laboratorios químicos reconocidos. Una vez se contó con la densidad se realizó una proporcionalidad para su expresión en gramos.

Posterior a determinar la expresión en Kg/m<sup>2</sup> de las cantidades del inventario (0,65 g para PME 124 y 1gr de CDS) se estableció todo a 1gr, por medio de una regla de tres. El anterior proceso se realiza para establecer la equivalencia entre el polímero y el precursor ya que se utiliza solo 0,01gr de ambos componentes para la unidad funcional de 4cm<sup>2</sup>. El precursor y el polímero tienen entre ellos un porcentaje en peso de 80% para el polímero 124 y un 20% para el precursor. Los cálculos seguirán la siguiente tabla conservando estos porcentajes.

Cálculos I. Para determinar unidad funcional al polímero y precursor

Elemento	Dato	Und. (g o ml)	Densidad para determinar g de las unidades de volumen (g/cm <sup>3</sup> )	Dato Para (g)	Cantidad. Quantity (g/m <sup>2</sup> )	Cantidad. Quantity (kg/m <sup>2</sup> )
n-metylisatin	0,16	g	-	0,16	400	0,4
1,4-bis(9,9-di-methylfluren-2-yl)-2,3,5,6-tetrafluorobenzene	0,55	g	-	0,55	1375	1,375
Dicloromethane (vol)	3,9	ml	1,325	5,1675	9750	9,75
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid(vol)	0,65	ml	2,9	1,885	1625	1,625
Methanol (vol)	8	ml	0,79	6,32	20000	20
Solvent waste -hazardous waste*	12,62	g	-	12,62	31550	31,55
Cadmium chloride	1	g	-	1	2500	2,5
Ethylxanthate	1,6	g	-	1,6	4000	4
Water deionised (vol)	160	ml	0,99	158,4	400000	400
Trichloromethane (vol)	20	ml	1,492	29,84	50000	50
Hexane (vol)	80	ml	0,659	52,72	200000	200
Disposal solvent*	54	g	-	54	135000	135

Al ser 0,01 los gramos necesarios entre los dos componentes, con un porcentaje de 80-20, esto nos resulta que 0,008gr de polímero 124 son los necesarios para la unidad funcional de QD y por ende, la sumatoria de todos los componentes nos debe dar 0,008gr, para lograrlo se utiliza un factor de conversión.

El mismo procedimiento se realiza con el 20% en peso del precursor, para el 0,001 g necesario para la unidad funcional. En este caso se utiliza el factor de conversión 500, debido que es el resultado de 1/0,002.

Cálculos II. Para determinar unidad funcional al polímero y precursor

Material	Cantidad. Quantity (kg/m <sup>2</sup> )	Según Artículo Dato para Cantidad (g)	Para la producción de 1 gramo de cada componente	Utilizado en el proceso de	% en peso	Peso (g) para 4cm <sup>2</sup>
n-methylisatin	0,4	0,65	0,2461	Polymer PME 124	80%	0,01
1,4-bis (9,9-di-methylfluorene-2-yl)-2,3,5,6-tetrafluorobenzene	1,375		0,8461			
Dicloromethane (vol)	9,75		7,95			
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid(vol)	1,625		2,9			
Methanol (vol)	20		9,7230			
Solvent waste -hazardous waste*	31,55		-			
Cadmium chloride	2,5	1	1	Precursor (PR04) CdS QDs	20%	0,01
Ethylxanthate	4		1,6			
Water deionised (vol)	400		158,4			
Trichloromethane (vol)	50		29,84			
Hexane (vol)	200		52,72			
Disposal solvent*	135		-			

Se puede comprobar que el final de las sumatorias por componente es igual a la cantidad necesaria para la unidad funcional.

Cálculos III. Para determinar unidad funcional al polímero y precursor

Utilizado en el proceso de	%en peso	Peso (g) para 4cm <sup>2</sup>	Necesario para 1 gramo	Gramos por componente para 4cm <sup>2</sup>	Sumatoria por componente	Para la unidad	Factor de conversión	Cantidad en gramos para la unidad funcional
Polymer PME 124	80%	0,01	0,196	0,008	17,332	0,0113	125	9,09E-05
			0,676					3,12E-04
			6,36					2,94E-03
			2,32					1,07E-03
			7,778					3,59E-03
			-					0,008
Precursor (PR04) CdS QDs	20%	0,01	0,2	0,002	48,712	0,0041	500	8,21E-06
			0,32					1,31E-05
			31,68					0,0013007
			5,968					0,0002450
			10,544					0,0004329
			-					0,002



- Polímero PME 124

Para comprobar resultados se utilizó otra metodología, también matemática que soporta por proporcionalidad los resultados obtenidos.

Cálculo para determinar Unidad funcional a Polímero 124

Data Source	Utilizado en el proceso de	Según Art. 6. Dato para Cantidad	g. para 4 cm <sup>2</sup>	Sumatoria	Para la unidad	Factor de conversión	Cantidad en gramos para la unidad funcional (g/4cm <sup>2</sup> )
RER: nitrobenzene, at plant-assimilation	Polymer PME 124	0,65	8,00E-03	1,73E+01	1,14E-02	125	9,09E-05
Monomer 2					3,91E-02		3,12E-04
Dichloromethane, at plant					3,67E-01		2,94E-03
Trifluoromethane, at plant					1,34E-01		1,07E-03
CH: methanol, at regional storage organics					4,49E-01		3,59E-03
Sumatoria					1,00E+00		8,00E-03

- Monómero 2

El polímero PME 124 es el resultado de la interacción de dos monómeros. El monómero 1 es precursor de monómero 2 y el monómero 2 es precursor del polímero PME124.

Por lo que los cálculos Para determinar las cantidades del monómero 2, se toma del inventario los datos según ECOINVENT: Para generar 1,4gramos de monómero 2 se necesita Artículo de referencia, Tabla B2:

Cálculo I. Para determinar Unidad funcional a Monómero 2

Elemento	Cantidad	Unidad
Monomer 1-PME 124	4	g
RER: o-dichlorobenzene, at plant	1,91	g
RER: palladium, at regional storage	0,2	g
RER: toluene, liquid, at plant	30	ml
RER: butanol, 1-, at plant	24	ml
RER: deionised water, at plant	50	ml
RER: hydrochloric acid, 30% in H <sub>2</sub> O, at plant	10	ml
RER: trichloromethane, at plant	50	ml
RER: sodium silicate, spray powder 80%, at plant [inorganics] is used instead of silica gel	100	g
Hexane organic	3000	ml

Estos datos se transformaron para la producción de 1 gramo y posteriormente a la unidad funcional. Para la transformación a la unidad funcional se tomaron los datos de la tabla de PME 124: Para generar 0,65 g de polímero PME se necesita 0,55 gramos de Monómero 2.

Entonces: si para la producción de 0,65gr PME124 se requiere 0,55gr de monomero2, para la producción de 0,008gr PME124 se requiere 0,0067 de Monómero 2.

Cálculos II. Para determinar Unidad funcional a Monómero 2

Data Source	g	Para la producción de 1 gramo de cada component	g/4cm <sup>2</sup>	Σ	Para la unidad	Factor de conversión	Cantidad en gramos para la unidad funcional (g/4cm <sup>2</sup> )
Monomer 1-PME 124	1,4	2,86E+00	6,77E-03	1,62E+03	1,77E-03	147,73	1,20E-05
RER: o-dichlorobenzene, at plant		1,36E+00			8,44E-04		5,71E-06
RER: palladium, at regional storage		1,43E-01			8,83E-05		5,98E-07
RER: toluene, liquid, at plant		1,86E+01			1,15E-02		7,78E-05
RER: butanol, 1-, at plant		1,39E+01			8,59E-03		5,81E-05
RER: deionised water, at plant		3,54E+01			2,19E-02		1,48E-04
RER: hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant		8,21E+00			5,08E-03		3,44E-05
RER: trichloromethane, at plant		5,33E+01			3,29E-02		2,23E-04
RER: sodium silicate, spray powder 80%, at plant [inorganics]		7,14E+01			4,42E-02		2,99E-04
Hexane organic		1,41E+03			8,73E-01		5,91E-03
Sumatoria		-					1,00E+00

- Monómero 1

Para generar el monómero 1 es necesario los siguientes elementos químicos:

Materiales necesarios para Monómero 1

Elemento	Gramos
n-BuLi	0,92
2-bromo-9,9-dimethylfluorene	3
2-isopropoxy-4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaboro-lane	2,66
THF ( Volumen )	35,96
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid (Volumen)	1,885
Water (Volumen)	39,6
Dicloromethane (Volumen)	53

Cada uno de ellos tiene una referencia global (GLO) o de la unión Europea (RER). Se realiza una extrapolación de datos para determinar proporcionalmente las cantidades necesarias partiendo del inventario (para la producción de 2,3gr pasándola a la producción de 1gr). Para determinar los gramos por componente para la unidad funcional se realizó la siguiente operación: si 4gr de monómero 1 se requieren para 1,4gr de monómero 2, entonces para 0,0067gr de monomero2 se requiere 0,019 de monomero1.

Posteriormente por factores de conversión se determinaron las cantidades para ( $\text{g}/4\text{cm}^2$ )

Cálculo para determinar Unidad funcional a Monómero 1

Data Source	g	Para la producción de 1 gramo de cada component	$\text{g}/4\text{cm}^2$	$\Sigma$	Para la unidad	Factor de conversión	Cantidad en gramos para la unidad funcional ( $\text{g}/4\text{cm}^2$ )
GLO: lithium, at plant	2,3	4,00E-01	1,93E-02	5,96E+01	6,71E-03	51,70	1,30E-04
RER: alkylbenzene, linear, at plant		1,30E+00			2,19E-02		4,23E-04
GLO: trimethyl borate, at plant		1,16E+00			1,94E-02		3,75E-04
RER: tetrahydrofuran, at plant		1,56E+01			2,62E-01		5,08E-03
Trifluoromethane, at plant		8,20E-01			1,38E-02		2,66E-04
Deionised water, at plant		1,72E+01			2,89E-01		5,59E-03
Dichloromethane, at plant		2,30E+01			3,87E-01		7,48E-03
Sumatoria		-			1,00E+00		1,93E-02

- Materiales utilizados en QDLED expresados en la Unidad funcional

Los siguientes son los Kg de elementos que se necesitan para producir  $1\text{m}^2$  de tecnología QDLED:

Materiales QDLED expresados en ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) Unidad Funcional

Materiales	Cantidad en gramos para la unidad funcional ( $\text{g}/4\text{cm}^2$ )	Cantidad. Quantity ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	Cantidad. Quantity ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
Indio (ITO)	2,70E-01	6,75E+02	6,75E-01
Tin: Estaño (ITO)	3,00E-02	7,50E+01	7,50E-02
Cu (40%)	2,00E-01	5,00E+02	5,00E-01
Glass	2	5,00E+03	5,00E+00
Ag. Plata	4,00E-02	1,00E+02	1,00E-01
Al	1,25E-02	3,13E+01	3,13E-02
Ca	1,25E-02	3,13E+01	3,13E-02
PEDOT	1,04E+00	2,60E+03	2,60E+00
Cover Glass	1,70E-01	4,25E+02	4,25E-01
Auxiliary material for equipment cleaning Toluene	8,67E-01	2,17E+03	2,17E+00
Isopropanol	3,14E+00	7,85E+03	7,85E+00
Epoxi resin	5,00E-03	1,25E+01	1,25E-02
Soap	5,00E-03	1,25E+01	1,25E-02

n-BuLi	1,30E-04	3,25E-01	3,25E-04
2-bromo-9,9-dimethylfluorene	4,23E-04	1,06E+00	1,06E-03
2-isopropoxy-4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaborolane	3,75E-04	9,39E-01	9,39E-04
THF ( Volumen )	5,08E-03	1,27E+01	1,27E-02
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid (Volumen)	2,66E-04	6,65E-01	6,65E-04
Water (Volumen)	5,59E-03	1,40E+01	1,40E-02
Dicloromethane (Volumen)	7,48E-03	1,87E+01	1,87E-02
9,9-dimethylfluorene-2-(4,4,5,5-tetramethyl 1,3,2-dioxaborolane	1,20E-05	2,99E-02	2,99E-05
1,4-dibromo-2,3,5,6-tetrafluorobenzene	5,71E-06	1,43E-02	1,43E-05
tetrakis(triphenylphosphino)Pd(0)	5,98E-07	1,49E-03	1,49E-06
Toluene (volumen)	7,78E-05	1,94E-01	1,94E-04
n-butanol (vol)	5,81E-05	1,45E-01	1,45E-04
Water (voll)	1,48E-04	3,70E-01	3,70E-04
Chloridc acid 30% (vol)	3,44E-05	8,60E-02	8,60E-05
Chloroform (vol)	2,23E-04	5,58E-01	5,58E-04
Silica gel	2,99E-04	7,47E-01	7,47E-04
n-hexane (vol)	5,91E-03	1,48E+01	1,48E-02
n-metylisatin	9,09E-05	2,27E-01	2,27E-04
1,4-bis (9,9-di-methylfluren-2-yl)-2,3,5,6-tetrafluorobenzene	3,12E-04	7,81E-01	7,81E-04
Dicloromethane (vol)	2,94E-03	7,34E+00	7,34E-03
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid(vol)	1,07E-03	2,68E+00	2,68E-03
Methanol (vol)	3,59E-03	8,98E+00	8,98E-03
Cadmium chloride	8,21E-06	2,05E-02	2,05E-05
Ethylxanthate	1,31E-05	3,28E-02	3,28E-05
Water deionised (vol)	1,30E-03	3,25E+00	3,25E-03
Trichloromethane (vol)	2,45E-04	6,13E-01	6,13E-04
Hexane (vol)	4,33E-04	1,08E+00	1,08E-03

## Anexo 11

### Peso de los elementos críticos QDLED

#### Cálculo I. Boro QDLED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Boro	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
C <sub>3</sub> H <sub>9</sub> BO <sub>3</sub>	103,904	9,39E-01	9,04E-03	1,00E+00	1,00E+00
C	12,011	3,26E-01	2,71E-02	3,47E-01	1,88E-01
H	1,007	8,19E-02	8,13E-02	8,72E-02	5,63E-01
B	10,811	9,77E-02	9,04E-03	1,04E-01	6,25E-02
O	15,999	4,34E-01	2,71E-02	4,62E-01	1,88E-01

#### Calculo II. Boro QDLED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Elemento	Formula	Cantidad en gramos para la unidad funcional (g/4cm <sup>2</sup> )	Cantidad. Quantity (g/m <sup>2</sup> )	Cantidad. Quantity (kg/m <sup>2</sup> )	Cantidad. Quantity (g/m <sup>2</sup> )	Requerimiento Boro por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Boro por m <sup>2</sup> (Kg)
2-isopropoxy-4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaboro-lane	C <sub>3</sub> H <sub>9</sub> BO <sub>3</sub>	3,75E-04	9,39E-01	9,39E-04	0,939	9,77E-02	9,77E-05

Cálculo I. Flúor QDLED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Flúor	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
CHF <sub>3</sub>	70,005	6,65E-01	9,50E-03	1,98E-01	1,99E-01
Br <sub>2</sub> C <sub>6</sub> F <sub>4</sub>	307,87	1,40E-02	4,55E-05	4,17E-03	9,51E-04
CHF <sub>3</sub>	70,005	2,68E+00	3,83E-02	7,98E-01	8,00E-01
F	18,998	2,73E+00	1,44E-01	8,12E-01	5,99E-01
C	12,011	5,77E-01	4,81E-02	1,72E-01	2,01E-01
H	1	4,78E-02	4,78E-02	1,42E-02	2,00E-01
Br	79,904	7,27E-03	9,09E-05	2,16E-03	3,80E-04

Cálculo II. Flúor QDLED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Elemento	Formula	Cantidad en gramos para la unidad funcional (G/4cm <sup>2</sup> )	Cantidad Quantity (g/m <sup>2</sup> )	Cantidad. Quantity (kg/m <sup>2</sup> )	Cantidad Quantity (g/m <sup>2</sup> )	Requerimiento Flúor por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Flúor por m <sup>2</sup> (Kg)
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid (Volumen)	CHF <sub>3</sub>	2,66E-04	6,65E-01	6,65E-04	0,665	2,73E+00	2,73E-03
1,4-dibromo-2,3,5,6-tetrafluorobenzene	Br <sub>2</sub> C <sub>6</sub> F <sub>4</sub>	5,71E-06	1,43E-02	1,43E-05	0,014		
TFSA-trifluoromethanesulfonic acid (Vol)	CHF <sub>3</sub>	1,07E-03	2,68E+00	2,68E-03	2,68		

Cálculo I. Indio QDLED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Indio	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
In <sub>(2)</sub> O <sub>(3)</sub>	277,637	6,75E+02	2,43E+00	1,00E+00	1,00E+00
In	114,82	5,58E+02	4,86E+00	8,27E-01	4,00E-01
O	15,999	1,17E+02	7,29E+00	1,73E-01	6,00E-01

Cálculo II. Indio QDLED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Layer	(g/4cm <sup>2</sup> )	Cantidad. Quantity (g/m <sup>2</sup> )	Cantidad. Quantity (kg/m <sup>2</sup> )	Cantidad. Quantity (g/m <sup>2</sup> )	Requerimiento Indio por m <sup>2</sup> (g)	Requerimiento Indio por m <sup>2</sup> (Kg)
Materials for QD-LED anode (ITO Glass)	2,70E-01	6,75E+02	6,75E-01	675	5,58E+02	5,58E-01

Cálculos I. Fosforo y Paladio QDLED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Fosforo y Paladio	Mmj (g/mol)	Mj (g)	Nj (mol)	Mass percentage	Molar percentage
C <sub>72</sub> H <sub>60</sub> P <sub>4</sub> Pd	1155,528	1,49E-03	1,29E-06	1,00E+00	1,00E+00
C	12,011	1,12E-03	9,28E-05	7,48E-01	5,26E-01
H	1	7,79E-05	7,74E-05	5,23E-02	4,38E-01
P	30,974	1,60E-04	5,16E-06	1,07E-01	2,92E-02
Pd	106,42	1,37E-04	1,29E-06	9,21E-02	7,30E-03

Cálculos II. Fosforo y Paladio QDLED a la Unidad Funcional (Kg/m<sup>2</sup>)

Elemento	Formula	g/4cm <sup>2</sup>	Cantidad Quantity (g/m <sup>2</sup> )	Cantidad Quantity (kg/m <sup>2</sup> )	(g/m <sup>2</sup> )	Paladio por m <sup>2</sup> (g)	Paladio por m <sup>2</sup> (Kg)	Fosforo por m <sup>2</sup> (g)	Fosforo por m <sup>2</sup> (Kg)
tetrakis(triphenyl phosphino)Pd(0)	C <sub>72</sub> H <sub>60</sub> P <sub>4</sub> Pd	5,9E-07	1,49E-03	1,49E-06	1,4E-03	1,37E-04	1,37E-07	1,60E-04	1,60E-07

Anexo 12

Lista de elementos críticos 2017

European Comission. (2017). *Study on the review of the list of critical raw materials: Final Report*. Brussels, Belgium. <https://doi.org/10.2873/876644>

Material	Stage assessed	Supply Risk	Economic Importance
Aggregates	Extraction	0,2	2,3
Aluminium	Processing	0,5	6,5
Antimony	Processing	4,3	4,3
Baryte	Extraction	1,6	2,9
Bauxite	Extraction	2	2,6
Bentonite	Extraction	0,2	2,1
Beryllium	Extraction	2,4	3,9
Bismuth	Processing	3,8	3,6
Borate	Extraction	3	3,1
Cerium	Extraction	5,7	3,2
Chromium	Processing	0,9	6,8
Cobalt	Extraction	1,6	5,7
Coking coal	Processing	1	2,3
Copper	Extraction	0,2	4,7
Diatomite	Extraction	0,3	3,8
Dysprosium	Extraction	5,2	6,3
Erbium	Extraction	5,2	2,7
Europium	Extraction	3,4	3,7
Feldspar	Extraction	0,6	2,4
Fluorspar	Extraction	1,3	4,2
Gadolinium	Extraction	5,1	4,1
Gallium	Processing	1,4	3,2
Germanium	Processing	1,9	3,5
Gold	Extraction	0,2	2
Gypsum	Extraction	0,5	2,2
Hafnium	Processing	1,3	4,2
Helium	Processing	1,6	2,8
Holmium	Extraction	5,4	3,3
Indium	Processing	2,4	3,1
Iridium	Processing	2,8	4,3
Iron ore	Extraction	0,8	6,2
Kaolin clay	Extraction	0,5	2,3
Lanthanum	Extraction	5,4	1,4
Lead	Extraction	0,1	3,7
Limestone	Extraction	0,1	2,5
Lithium	Processing	1	2,4
Lutetium	Extraction	5,4	3,3
Magnesite	Extraction	0,7	3,7
Magnesium	Processing	4	7,1
Manganese	Extraction	0,9	6,1
Molybdenum	Extraction	0,9	5,2
Natural cork	Extraction	1,1	1,5
Natural graphite	Extraction	2,9	2,9
Natural Rubber	Extraction	1	5,4
Natural Teak wood	Extraction	0,9	2
Neodymium	Extraction	4,8	4,2

Nickel	Processing	0,3	4,8
Niobium	Processing	3,1	4,8
Palladium	Processing	1,7	5,6
Perlite	Extraction	0,4	2,1
Phosphate rock	Extraction	1	5,1
Phosphorus	Processing	4,1	4,4
Platinum	Processing	2,1	4,9
Potash	Extraction	0,6	4,8
Praseodymium	Extraction	4,6	3,8
Rhenium	Processing	1	2
Rhodium	Processing	2,5	6,6
Ruthenium	Processing	3,4	3,5
Samarium	Extraction	4,5	5,5
Sapele wood	Extraction	1,4	1,3
Scandium	Processing	2,9	3,7
Selenium	Processing	0,4	4,5
Silica sand	Extraction	0,3	2,6
Silicon metal	Processing	1	3,8
Silver	Extraction	0,5	3,8
Sulphur	Processing	0,6	4,6
Talc	Extraction	0,4	3
Tantalum	Extraction	1	3,9
Tellurium	Processing	0,7	3,4
Terbium	Extraction	4,8	3,9
Thulium	Extraction	5,4	3,3
Tin	Processing	0,8	4,4
Titanium	Extraction	0,3	4,3
Tungsten	Extraction	1,8	7,3
Vanadium	Processing	1,6	3,7
Ytterbium	Extraction	5,4	3,3
Yttrium	Extraction	3,8	3,2
Zinc	Extraction	0,3	4,5
Means critical			