

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN DISEÑO Y FABRICACIÓN

INTEGRADA ASISTIDOS POR COMPUTADOR

SONDAS GAMMA PARA LA DETECCIÓN DEL GANGLIO CENTINELA: UNA COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DEL CICLO DE VIDA

AUTOR: GÓMEZ GUARÍN, JULIÁN CAMILO

TUTOR: VIÑOLES CEBOLLA, ROSARIO

COTUTOR: BASTANTE CECA, MARIA JOSÉ

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso Académico: 2018-19



AGRADECIMIENTOS

Doy gracias primordialmente a Dios por darme la inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad para alcanzar una meta más en mi proyecto de vida.

A mis padres Julio Cesar y María Teresa por todo su apoyo, entrega y comprensión brindada en este tiempo lejos de casa.

A mis abuelos Julio, Esther y Socorro, y tía Aura por toda su entrega y sus buenos consejos de vida.

A mis hermanos Cesar y Yuli, y sobrinos Mateo y Mari por su motivación, ejemplo y apoyo.

A Sandra por todo su apoyo incondicional, por animarme, por su entendimiento y fuerza que me ayudaron cada día a seguir adelante.

A mis familiares gracias porque nunca dudaron de mí capacidad y siempre me incentivaron a seguir adelante.

A las profesoras Rosario Viñoles y María José directoras del proyecto por su confianza y apoyo brindado en la construcción del trabajo.

A Jorge y mis compañeros de la empresa Oncovision que me apoyaron en la realización del trabajo y por permitirme trabajar en este nuevo campo profesional.

A mis amigos, socios y compañeros, gracias por su apoyo y buenos deseos.

Y a todas esas personas que de una u otra forma han marcado la diferencia en mi vida. Gracias a todos por contribuir su buena energía sobre mi vida.

Julián C Gómez Guarín



RESUMEN

La sonda gamma es un dispositivo médico perteneciente al área de la medicina nuclear, que permite localizar los ganglios linfáticos centinela por su radioactividad en el cuerpo humano y por tal motivo es un equipo que está en continuo desarrollo y crecimiento en el mercado. Este continuo desarrollo y crecimiento ha llevado a la empresa fabricante a plantearse también, además de los aspectos técnicos, los aspectos ambientales de dicha tipología de productos.

El propósito del presente Trabajo Fin de Máster es comparar los impactos ambientales de dos tipos de sondas gamma, WProbe y WProbe+, empleadas para la detección del ganglio centinela empleando la metodología de Análisis del Ciclo de Vida estandarizada en las normas UNE-EN ISO 14.040:2006 y UNE-EN ISO 14.044:2006.

La metodología fue desarrollada con la herramienta especializada SimaPro y en los resultados se evidencia que el impacto producido por la sonda WProbe es de 30,82Pt y la sonda WProbe+ es de 8,57Pt obteniendo como resultado una reducción del impacto generado del 75% (22,25Pt) y tres estrategias de mejora que involucran la optimización de la batería, alternativas del empaque y las placas electrónicas, esto con el fin de seguir reduciendo el impacto ambiental generado por las sondas gamma.

Palabras Clave: Sondas Gamma, impacto ambiental, Análisis del ciclo de vida, ISO 14.040.



CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo General	11
3.2 Objetivos Específicos	11
4. MARCO REFERENCIAL	12
4.1 Marco Teórico	12
4.1.1 Detección del ganglio centinela	12
4.1.2 Sondas gamma	13
4.1.2.1 Principio de funcionamiento	13
4.1.2.2 Componentes de una sonda gamma	13
4.1.2.3 Beneficios del uso de las sondas gamma WProbe y WProbe+	14
4.1.2.4 Sonda gamma WProbe	15
4.1.2.5 Sonda gamma WProbe+	16
4.1.3 Problemas ambientales en las sondas gamma	18
4.1.4 Aspectos e Impactos ambientales	19
4.1.5 Ciclo de vida de producto	21
4.1.6 Análisis de ciclo de vida	22
4.1.7 Metodología de ACV	25
4.1.7.1 La definición del objetivo y del alcance	26
4.1.7.2 Análisis de Inventario del ciclo de vida	26
4.1.7.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida	27
4.1.7.4 Interpretación del ciclo de vida	28
4.1.8 Herramientas para ACV	29
4.2 Marco Legislativo y Normativo	30
5. DISEÑO METODOLÓGICO	31
5.1 Tipo de estudio	31
5.2 Metodología	31
5.3 Fuentes de recolección de información	31
5.3.1 Fuentes Secundarias	31
5.3.2 Fuentes Primarias	31
6. DESARROLLO DEL TRABAJO	32
6.1 Definición del objetivo y del alcance	32
6.1.1 Objetivo del estudio	32
6.1.2 Alcance del estudio	32
6.1.2.1 El sistema del producto bajo estudio.	32
6.1.2.2 Las funciones del sistema del producto	37
6.1.2.3 Unidad funcional	37
6.1.2.4 Límites del sistema	37
6.1.2.5 Metodología del EICV y los tipos de impactos	38
6.1.2.6 Requisitos relativos a los datos	39
6.1.2.7 Requisitos de calidad de los datos	39
6.1.2.8 Tipo y formato del informe	40
6.2 Análisis del inventario del ciclo de vida.	40
6.2.1 Sonda WProbe	40
6.2.1.1 Obtención de materias primas y fabricación	40
6.2.1.2 Distribución y Transporte	48
6.2.1.3 Uso y Mantenimiento	49
6.2.1.4 Fin de vida	50



6.2.2	Sonda WProbe+	52
6.2.2.1	Obtención de materias primas y fabricación	52
6.2.2.2	Distribución y Transporte	57
6.2.2.3	Uso y Mantenimiento	58
6.2.2.4	Fin de vida	59
6.2.3	Ciclo de vida de las sondas en SimaPro	60
6.3	Evaluación del impacto del ciclo de vida	63
6.3.1	Selección de categorías de impacto.	63
6.3.2	Clasificación	63
6.3.3	Caracterización	64
6.3.4	Elementos optativos	65
6.4	Interpretación del ciclo de vida	65
6.4.1	Sonda WProbe	65
6.4.1.1	Caracterización Ciclo de vida WProbe	65
6.4.1.2	Puntuación única Ciclo de vida WProbe	66
6.4.2	Sonda WProbe+	69
6.4.2.1	Caracterización Ciclo de vida WProbe+	69
6.4.2.2	Puntuación única Ciclo de vida WProbe+	69
6.4.3	Comparación impactos ambientales de las sondas gamma WProbe y WProbe+	73
6.4.3.1	Caracterización comparativa de las sondas gamma	73
6.4.3.2	Puntuación única comparativa de las sondas gamma	75
6.5	Propuestas de mejora	77
6.5.1	Optimización de batería	77
6.5.2	Alternativas en el empaque	77
6.5.3	Análisis en placas electrónicas	78
7.	PRESUPUESTO	79
8.	CONCLUSIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	81
	ANEXOS	83



LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Grupos de montaje Sondas Gamma.	34
Tabla 2. Jerarquía piezas de Sonda WProbe.	35
Tabla 3. Jerarquía piezas de Sonda WProbe+.	37
Tabla 4. Inventario del ciclo de vida según la base de datos de Ecoinvent [16].	45
Tabla 5. Cálculo de distancias de distribución de sondas WProbe a clientes.	48
Tabla 6. Tiempo de uso real de la sonda para una batería de la sonda WProbe.	49
Tabla 7. Escenario de porcentaje de residuos, reciclaje, vertedero e incineración en España para el año 2016.	51
Tabla 8. Cálculo de distancias de distribución de sondas WProbe+ a clientes.	57
Tabla 9. Tiempo de uso real de la sonda para una batería de la sonda WProbe.	58
Tabla 10. Normalización, Método ReCiPe Endpoint (I) / Europe ReCiPe I/I	65
Tabla 11. Ponderación de importancia a las categorías de impacto de punto final.	65
Tabla 12. Impacto de etapas del Ciclo de Vida sonda WProbe.	66
Tabla 13. Impacto etapa de fabricación sonda WProbe.	67
Tabla 14. Impacto etapa de fabricación sin empaque de sonda WProbe.	69
Tabla 15. Impacto de etapas del Ciclo de Vida sonda WProbe+.	70
Tabla 16. Impacto etapa de fabricación sonda WProbe+.	71
Tabla 17. Impacto etapa de fabricación sin empaque de sonda WProbe+.	73
Tabla 18. Comparación por etapas que más repercute sobre las categorías de impacto.	74
Tabla 19. Comparación Impacto Positivo de la etapa Fin de Vida.	75
Tabla 20. Comparación de impactos ambientales por etapas del ciclo de vida de las sondas WProbe y WProbe+.	76
Tabla 21. Comparación de impactos ambientales etapa de fabricación del ciclo de vida sondas WProbe y WProbe+.	77
Tabla 22. Presupuesto global TFM ACV de sondas gamma WProbe y WProbe+.	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Evolución de ventas de las sondas Gamma WProbe en Oncovision.	9
Figura 2. Diseminación de las células tumorales. [3]	12
Figura 3. Campo de visión de la Sonda.	13
Figura 4. Componentes sondas gamma.	14
Figura 5. Sonda gamma WProbe, Oncovision S.A.	15
Figura 6. Tablet IMT-BT Adlik 10.1" grado médico (Oncovision).	16
Figura 7. Maletín Topstar IV, para almacenamiento y transporte de WProbe (Oncovision).	16
Figura 8. Sonda gamma WProbe+, Oncovision S.A.	17
Figura 9. Componentes sonda WProbe+ STD.	17
Figura 10. Compartimiento de la batería.	18
Figura 11. Relación causa efecto en el medio ambiente.	19
Figura 12. Posibles causas-efectos derivados de los diferentes aspectos ambientales y sus impactos [5].	20
Figura 13. Ciclo de Vida de un Producto [6].	22
Figura 14. Beneficios de un ACV.	24
Figura 15. Etapas de un ACV [1].	25
Figura 16. Procedimientos simplificados para el análisis del inventario [10].	26
Figura 17. Elementos de la fase EICV[1].	27
Figura 18. Relaciones entre los elementos en la fase de interpretación con las otras fases del ACV [10].	28
Figura 19. Logo de software SimaPro.	29
Figura 20. Esquema del proceso del sistema producto, sondas gamma WProbe y WProbe+.	33
Figura 21. Despiece de Sonda WProbe.	34
Figura 22. Despiece de Sonda WProbe+.	36
Figura 23. Captura de pantalla Software SimaPro, categorías de impacto de punto medio.	38
Figura 24. Captura de pantalla Software SimaPro, categorías de impacto punto final.	38
Figura 25. Estructura del método ReCiPe[12].	39
Figura 26. Captura de pantalla SimaPro, Creación del Proyecto TFM Sondas Gamma.	40
Figura 27. Proceso global de Fabricación de la Sonda WProbe.	41
Figura 28. Proceso unitario del montaje de Piezas Externas en WProbe.	42
Figura 29. Captura de pantalla SimaPro, montaje de Piezas externas WProbe.	42
Figura 30. Proceso unitario del montaje de Punta en WProbe.	43
Figura 31. Captura de pantalla SimaPro, Material Tungsteno.	45
Figura 32. Proceso unitario del montaje de Portapilas en WProbe.	46
Figura 33. Captura de pantalla SimaPro, del montaje de Portapilas en WProbe.	46
Figura 34. Proceso unitario del montaje de Rack Control en WProbe.	47
Figura 35. Proceso unitario del montaje de Empaque en WProbe.	47
Figura 36. Proceso global de distribución y transporte de la Sonda WProbe.	48
Figura 37. Proceso unitario de Uso y Mantenimiento de la Sonda WProbe.	50
Figura 38. Captura de pantalla, Base de datos de Eurostat para el fin de vida.	50
Figura 39. Proceso unitario de Fin de Vida de la Sonda WProbe.	51
Figura 40. Captura de pantalla SimaPro, escenario fin de vida de las sondas gamma.	52
Figura 41. Proceso global de Fabricación de la Sonda WProbe+.	52
Figura 42. Proceso unitario del montaje de Piezas Externas en WProbe.	53
Figura 43. Captura de pantalla SimaPro, montaje de Piezas externas en WProbe+.	53
Figura 44. Proceso unitario del montaje de Cabezal en WProbe+	54
Figura 45. Captura de pantalla SimaPro, montaje de Cabezal en WProbe+.	54
Figura 46. Proceso unitario del montaje de Portapilas en WProbe+.	55
Figura 47. Captura de pantalla SimaPro, montaje de Portapilas en WProbe+.	55
Figura 48. Proceso unitario del montaje de PCB Control en WProbe+.	56
Figura 49. Proceso unitario del montaje de Empaque en WProbe+.	56
Figura 50. Captura de pantalla SimaPro, montaje del Empaque en WProbe+.	57



Figura 51. Proceso global de distribución y transporte de la Sonda WProbe+.	58
Figura 52. Proceso unitario de Uso y Mantenimiento de la Sonda WProbe.	59
Figura 53. Proceso unitario de Fin de Vida de la Sonda WProbe+.	59
Figura 54. Captura de pantalla SimaPro, montaje de ciclo de vida Baterías en WProbe.	60
Figura 55. Captura de pantalla SimaPro, montaje de ciclo de vida Baterías en WProbe+.	61
Figura 56. Proceso global del Ciclo de Vida Sonda WProbe.	61
Figura 57. Captura de pantalla SimaPro, ciclo de vida de la sonda WProbe.	62
Figura 58. Proceso global del Ciclo de Vida Sonda WProbe+.	62
Figura 59. Captura de pantalla SimaPro, Ciclo de Vida sonda WProbe+.	63
Figura 60. Gráfica de caracterización, Ciclo de Vida sonda WProbe.	64
Figura 61. Gráfica de caracterización, Ciclo de Vida sonda WProbe+.	64
Figura 62. Gráfica puntuación única Ciclo de Vida sonda WProbe.	66
Figura 63. Gráfica puntuación única etapa de uso y mantenimiento sonda WProbe.	67
Figura 64. Gráfica puntuación única etapa de fabricación sonda WProbe.	67
Figura 65. Gráfica Árbol del grupo de montaje Empaque ASM WP de sonda WProbe.	68
Figura 66. Gráfica puntuación única etapa de fabricación sin empaque de sonda WProbe.	68
Figura 67. Gráfica Árbol de la etapa de fabricación sin el montaje Empaque ASM WP.	69
Figura 68. Gráfico puntuación única Ciclo de Vida WProbe+.	70
Figura 69. Gráfica puntuación única etapa de uso y mantenimiento sonda WProbe+.	71
Figura 70. Gráfica puntuación única etapa de fabricación sonda WProbe+.	71
Figura 71. Gráfica Árbol del grupo de montaje Empaque ASM WP de sonda WProbe+.	72
Figura 72. Gráfica puntuación única etapa de fabricación sin empaque de sonda WProbe+.	72
Figura 73. Gráfica Árbol de la etapa de fabricación sin el montaje Empaque ASM WP+.	73
Figura 74. Gráfica de caracterización, comparación de los Ciclos de Vida de las sondas WProbe y WProbe+.	74
Figura 75. Gráfico puntuación única, comparación de los Ciclos de Vida de las sondas WProbe y WProbe+.	76

1. INTRODUCCIÓN

La técnica de detección del ganglio centinela se introdujo en el año 1992 en el campo de la medicina nuclear. Consiste en la inyección de un radiotrazador en el tumor o a su alrededor con el fin de evaluar la propagación o migración del tumor sobre el cuerpo humano y así poder encontrar el ganglio centinela. Una vez localizado el ganglio, se realiza una extracción quirúrgica por medio de una sonda de detección de rayos gamma que permite identificar la energía que irradia el material radiotrazador.

Una sonda gamma es un dispositivo mediante el cual se puede distinguir y localizar los puntos de alta actividad donde el radiofármaco migra. Estos puntos son conocidos como los nodos o ganglios centinelas. El primer uso de una sonda gamma en la técnica de detección del ganglio centinela se dio en el año 1993, y actualmente es uno de los equipos más importantes en el campo de la medicina nuclear.

La empresa Oncovision tiene dos sondas gamma WProbe y una nueva versión WProbe+, las cuales están en el mercado y llevan una evolución de ventas satisfactoria para la empresa (ver Figura 1). Evidenciando que cada vez hay mas sondas fabricadas en el mercado se podría suponer que hay impactos ambientales generados en su ciclo de vida. Estos impactos aún no han sido medidos ni cuantificados por la empresa fabricante y se desconoce el efecto que estos puede hacer sobre el medio ambiente.

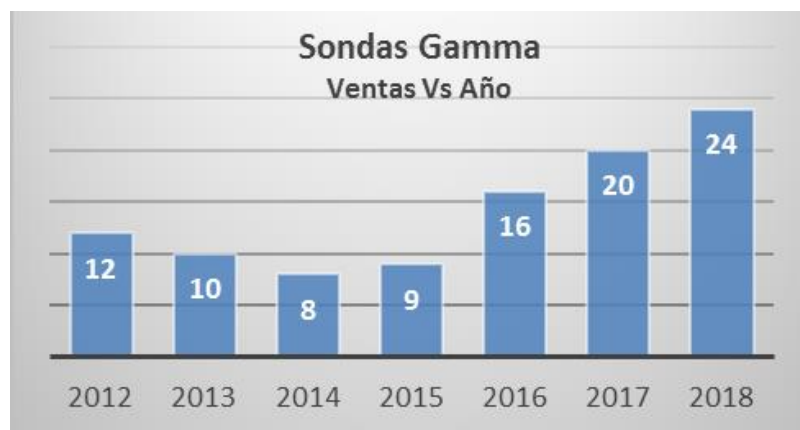


Figura 1. Evolución de ventas de las sondas Gamma WProbe en Oncovision.

La sonda WProbe+ es una nueva versión que ha salido al mercado para el presente año, y tiene como diferencia principal, la identificación de rangos de energía de los diferentes radiotrazadores líquidos que son inyectados a los pacientes tratados. Para lograr esto la sonda fue rediseñada en todas las fases de su ciclo de vida, sin tener en cuenta qué impactos ambientales podrían generarse.



2. JUSTIFICACIÓN

A pesar del creciente interés por la adquisición de las sondas gamma en el mercado de la medicina nuclear, los estudios de ACV sobre tecnologías medicas avanzadas no se han llevado a cabo en un alto grado, al menos en lo que respecta en publicaciones. El conocimiento real de cuáles son los posibles impactos ambientales de las sondas es, por lo tanto, difícil de evaluar ya que no se tienen estudios referentes en el tema.

Teniendo en cuenta la evolución de las sondas en el mercado y que cada vez se hace más competitivo, la empresa fabricante ha decidido plantearse también, además de los aspectos técnicos, los impactos ambientales que las sondas gamma producen a lo largo de todo su ciclo de vida y plantear posibles estrategias de mejora.

Dado que existe una metodología para llevar a cabo el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de productos estandarizados en las normas UNE-EN ISO 14.040:2006 Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Principios y marco de referencia, y UNE-EN ISO 14.044:2006 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Requisitos y directrices, se considera lógico su empleo para la cuantificación de los impactos ambientales de las sondas.



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Comparar los impactos ambientales del ciclo de vida de las sondas gamma WProbe y WProbe+ de la empresa Oncovision, por medio de un análisis del ciclo de vida (ACV) con el fin de determinar si el nuevo diseño tiene igual, menor o mayor impacto ambiental y plantear posibles estrategias de mejora en base a los resultados obtenidos.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los componentes y materiales necesarios para el montaje las sondas gamma.
- Describir los procesos de fabricación y la distancia de los proveedores de las piezas que componen las sondas.
- Localizar el mercado potencial de las sondas gamma WProbe y WProbe+.
- Identificar los escenarios de uso a los que se verán expuestos las sondas gamma.
- Describir la gestión de fin de vida de las sondas gamma.
- Aplicar la metodología de Análisis del Ciclo de Vida enmarcada bajo las normas UNE-EN ISO 14.040:2006 y UNE-EN ISO 14.044:2006.
- Comparar los resultados obtenidos de los impactos ambientales producidos por las sondas gamma.
- Interpretar los resultados obtenidos mediante conclusiones que permitan mejorar los futuros diseños de las sondas gamma.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Marco Teórico

4.1.1 Detección del ganglio centinela

Los ganglios centinelas son “el primer ganglio o grupo de ganglios de una cadena en recibir el drenaje linfático proveniente de un tumor primario. Por tanto, será el primer ganglio que se verá afectado en caso de metástasis, y su estado predice el de los demás [4]”.

La detección del ganglio centinela se basa en dos principios básicos[2]: “la existencia de un patrón ordenado y predecible de drenaje linfático a una cavidad ganglionar regional, y el funcionamiento de un primer ganglio linfático como filtro eficaz para las células tumorales”.

En la Figura 2, se muestra un esquema de la diseminación ordenada de las células tumorales hacia el ganglio centinela, en primer lugar, y luego hacia ganglios secundarios.

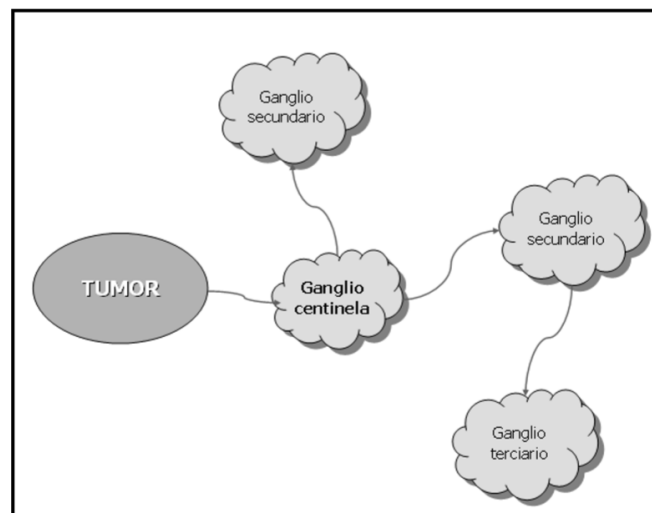


Figura 2. Diseminación de las células tumorales. [3]

La primera vez que se usó el término de ganglio centinela fue en el año 1977 por Cabañas, “quien estudio el drenaje linfático del carcinoma de pene a través de linfografiías y comprobó que el ganglio linfático al que migraba el contraste radiológico tenía una localización anatómica precisa[3]”. Actualmente la definición del ganglio centinela es diferente ya que no se trata de un ganglio fijo, sino que es el primer ganglio que recibe el drenaje del tumor, es decir el primer ganglio que se ve afectado por las células cancerígenas.

En la actualidad existen dos técnicas de detección del ganglio centinela, los colorantes vitales y radiotrazadores. En la técnica de colorantes vitales existen diferentes tipos; azul de isosulfán, azul vital, azul de mileno, feniloxalato y fluoresceína. “Los más óptimos para la biopsia selectiva de ganglio centinela son los dos primeros, ya que presentan mínima difusión a los tejidos circundantes, con lo que el ganglio linfático se identifica claramente[3]”.

Los radiotrazadores es una alternativa a los colorantes, los cuales son coloides marcados con isótopos radiactivos, principalmente el ^{99m}Tc -pertecnato. En la actualidad hay más de ocho tipos de radiotrazadores, los cuales presentan ventajas respecto a los colorantes vitales una de ellas es que son más precisas para la localización del ganglio centinela permitiendo una incisión más pequeña, para acceder a éste. También ofrecen una señal acústica que sirve de guía auditiva y puede inyectarse en pacientes el día anterior o unas horas antes a la cirugía. Este avance en la medicina nuclear permite

hacer cirugías radioguiadas para tratar enfermedades como el cáncer de mama, el melanoma, cáncer de cérvix y el cáncer de vulva.

4.1.2 Sondas gamma

Una sonda gamma es “un dispositivo de mano para uso intraoperatorio después de la inyección intersticial de un radionúclido, para localizar los ganglios linfáticos centinela por su radioactividad. Se utiliza principalmente para el mapeo de ganglios linfáticos centinela y la cirugía paratiroidea[4]”. Las características principales de este tipo de dispositivos médicos son la sensibilidad global o eficiencia, la resolución de energía y la resolución espacial.

Otra de las características a tener en cuenta en la fase diseño de una sonda es la ergonomía, “ya que durante la cirugía es importante disponer de aparatos ligeros, de fácil transporte, con señal audible y con vigor analógico de la actividad detectada[3]”.

La empresa Oncovision S.A. tiene dos sondas gamma denominadas WProbe y la nueva versión WProbe+. Estas permiten la detección de radiación ionizante inalámbricas para uso en el entorno médico. Cada una de ellas está optimizada para detectar un rango determinado de energías de radiación gamma y maximizar la sensibilidad y la orientación de la radiación.

4.1.2.1 Principio de funcionamiento

La sonda WProbe es un detector de radiación gamma direccional que proporciona el valor de la actividad detectada en la dirección a la que se dirige. Por lo tanto, si un usuario desea determinar la actividad radioactiva en un área específica, la sonda debe estar apuntando en esa dirección. La dirección de detección se determina por el eje longitudinal del cabezal detector. También hay que tener en cuenta que la cabeza detectora tiene un campo de visión abierto, como se muestra en la Figura 3.

Cuanto menor sea la distancia entre la sonda y el punto a medir, mayor será el número de conteos por segundo detectados por el equipo. Para obtener una buena comparación entre las actividades en diferentes regiones, se deben garantizar las mismas condiciones en cuanto a la distancia y el ángulo de observación. Para la versión de la sonda WProbe estándar el campo de visión es de $<60^\circ$.

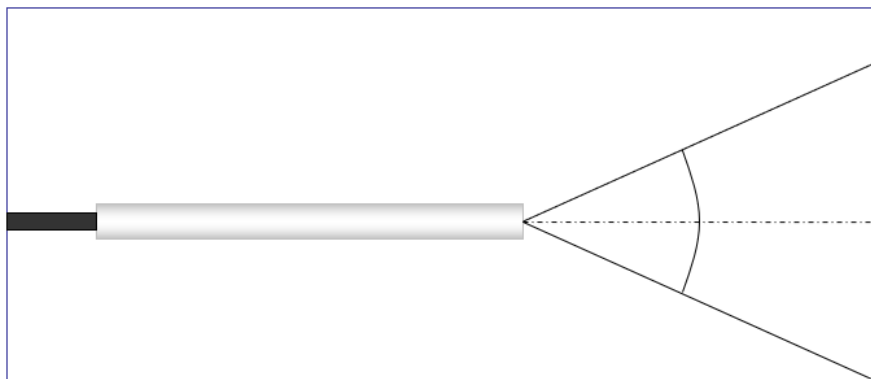


Figura 3. Campo de visión de la Sonda.

4.1.2.2 Componentes de una sonda gamma

En la Figura 4, se muestran las diferentes partes de una sonda gamma basándonos en el producto WProbe existente en el mercado.

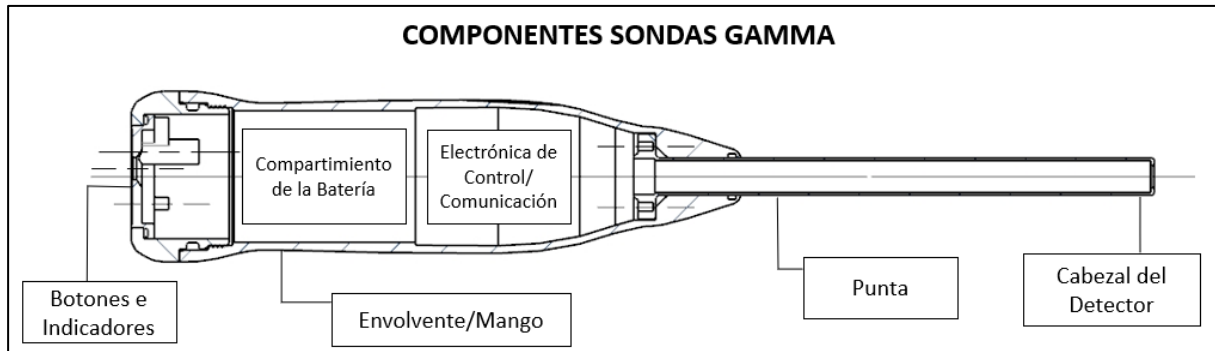


Figura 4. Componentes sondas gamma.

- **Envoltente/mango:** El mango es el elemento mecánico utilizado para sujetar la sonda. Debe cumplir los requisitos de esterilidad, biocompatibilidad, inflamabilidad y resistencia. Se fabrica típicamente en metal o plástico técnico. Tendrá las dimensiones adecuadas para que sea ergonómico y pueda contener la electrónica y la batería en su interior.
- **Punta:** La punta es la parte de la sonda que se inserta en la incisión del paciente para buscar la lesión. Los materiales biocompatibles como el titanio o el acero quirúrgico son los más utilizados. A excepción del cabezal del detector, la punta está vacía en su interior, incluyendo sólo los cables necesarios para transportar la energía y los datos al cabezal del detector.
- **Cabezal del detector:** Está compuesto por el elemento detector (normalmente un cristal de centelleo) y la electrónica del detector (SiPM/PMT y electrónica de acondicionamiento de señal). Este cabezal detector también incluye el blindaje lateral y, opcionalmente, un colimador. El cabezal del detector se encuentra en el extremo de la punta.
- **Botones e indicadores:** Normalmente, las sondas incluyen un botón de encendido/apagado, un LED de encendido y un LED de conexión (para sondas inalámbricas). Algunas sondas pueden incluir funciones adicionales para características específicas.
- **Electrónica de control/comunicación:** Este componente incluye toda la electrónica necesaria para controlar la adquisición de datos, la potencia del detector y la comunicación de la sonda. También interactúa con los botones e indicadores.
- **Carcasa de la batería:** Este elemento es el espacio donde se coloca la batería. Normalmente está aislado de la electrónica para evitar daños accidentales cuando el usuario cambia la batería.

Además de los componentes mencionados, la sonda también incluye una unidad de control donde el usuario puede configurar la sonda y donde los datos obtenidos de la sonda se presentan al usuario. Para la sonda WProbe, se tiene un software que puede funcionar en cualquier PC o Tablet PC compatible.

4.1.2.3 Beneficios del uso de las sondas gamma WProbe y WProbe+

Entre los beneficios de las sondas fabricadas por Oncovision cabe destacar lo siguiente:

- **Precisa:** Para localizar los ganglios más complejos. WProbe y WProbe+ son la mejor herramienta para la detección del ganglio centinela gracias a su extraordinaria resolución espacial, especialmente en casos difíciles como nodos cerca del punto de inyección que pueden no ser detectados por otros dispositivos i/o equipos.
- **Práctica:** Ligera, inalámbrica, ergonómica y manejable. Esterilizable a baja temperatura. Su punta es fina y precisa para evitar daños innecesarios en los tejidos.

- **Fácil:** Gran pantalla táctil con interfaz atractivo e intuitivo. La Tablet que acompaña a WProbe y WProbe+ cuenta con una pantalla de 10,4" para garantizar una óptima visibilidad. Incluye conexión bluetooth. Su maletín ligero facilita el transporte del kit por el hospital.

4.1.2.4 Sonda gamma WProbe

La primera WProbe modelo STD (ver Figura 5), salió al mercado por parte de la empresa Oncovision S.A., el 18 de abril del 2012 y la última fabricada fue el 21 de enero del 2019. Esta sonda se caracteriza por tener un mango color azul de un material biocompatible y una punta de titanio Ti6Al4V. Dentro de estas partes alojan la gran mayoría de componentes que tiene la sonda para su correcto funcionamiento.



Figura 5. Sonda gamma WProbe, Oncovision S.A.

En el mango de la sonda se puede distinguir dos partes: la parte externa y la parte interna. La externa contiene la etiqueta del producto, un LED azul indicador del enlace inalámbrico con la unidad de control, LED verde indicador del estado de encendido. Las medidas de las sondas son las siguientes: 48mm de diámetro y 176mm de largo.

En la parte interna del mango de la sonda se alberga una pila y toda la electrónica asociada al procesamiento de la señal eléctrica, además del envío/recepción de datos digitales por radiofrecuencia. La batería que alimenta la sonda WProbe es de un solo uso, de litio, de 3,6V y solo puede ser sustituida por el Servicio de Atención Técnica autorizado por Oncovision.

La punta de la sonda WProbe está fabricada con una aleación de titanio Ti6Al4V, material biocompatible. La punta aloja en su interior los componentes que permiten detectar radiaciones ionizantes gracias a un cristal especial centelleador y transformarla en una señal eléctrica mediante un fotodetector, la longitud de la punta del modelo STD es de 112mm.

Las cuentas detectadas por la sonda WProbe se presentan en el software WProbe que se instala en una unidad de control (ver Figura 6), que es compatible con este mismo software. Esta misma unidad de control debe tener al menos las especificaciones siguientes: Microsoft Windows XP, 512Mb de

RAM, Intel Atom 1.0GHz o superior, 30Gb de disco duro, Salida de audio, USB 2.0 o receptor Bluetooth integrado y PC de grado médico fanless para uso en quirófano. Esto es una Tablet IMT-BT Adlik 10.1" grado médico que está incluida en el kit de compra de la sonda WProbe.



Figura 6. Tablet IMT-BT Adlik 10.1" grado médico (Oncovision).

Por último, el embalaje de la sonda para ser transportada es en un maletín metálico (ver Figura 7), con ruedas de plástico y espumas en la parte interior para evitar impactos en el almacenamiento y transporte de la sonda por parte del usuario.



Figura 7. Maletín Topstar IV, para almacenamiento y transporte de WProbe (Oncovision).

4.1.2.5 Sonda gamma WProbe+

La sonda WProbe+ es una nueva versión de la sonda WProbe (ver Figura 8). Tiene como diferencia principal que la electrónica permite identificar automáticamente el radiotrazador que se encuentra en el cuerpo en el paciente, estando optimizada para detectar un rango de energías de isótopos detectados entre 25keV y 511keV, además de esto también hubo cambio en el diseño mecánico y ergonómico (ver Figura 9). El primer modelo STD de la sonda fue fabricada el 23 de mayo de 2019.

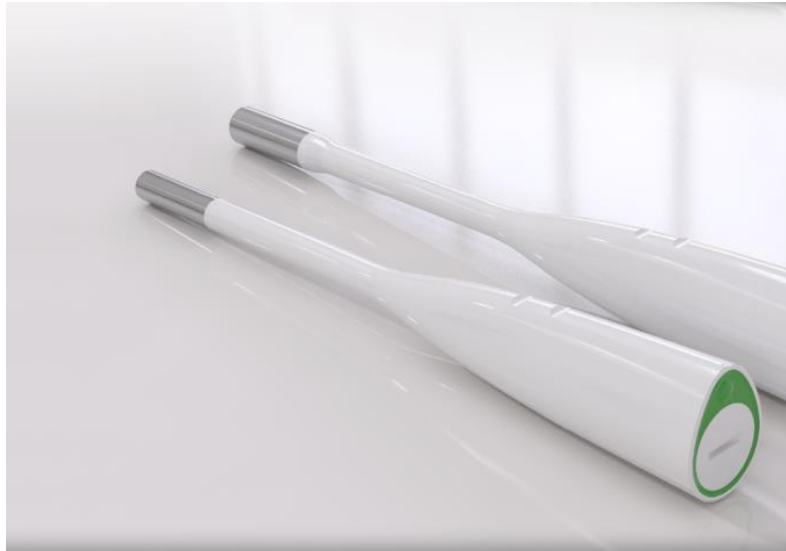


Figura 8. Sonda gamma WProbe+, Oncovision S.A.

WProbe+ está compuesto de la sonda y un software específico diseñado para su uso. El software es intuitivo y fácil para el usuario con diferentes funcionalidades para localizar de forma precisa la actividad radiactiva en el quirófano. El software está instalado en una unidad de control compatible con su uso conectado a través de Bluetooth con la sonda (ver Figura 6). El modelo WProbe+ STD tiene las siguientes especificaciones técnicas: Parte trasera (batería) tiene 31mm x 40mm de ancho por alto, la parte frontal (punta) diámetro de \varnothing 11mm y una longitud total de 255mm.

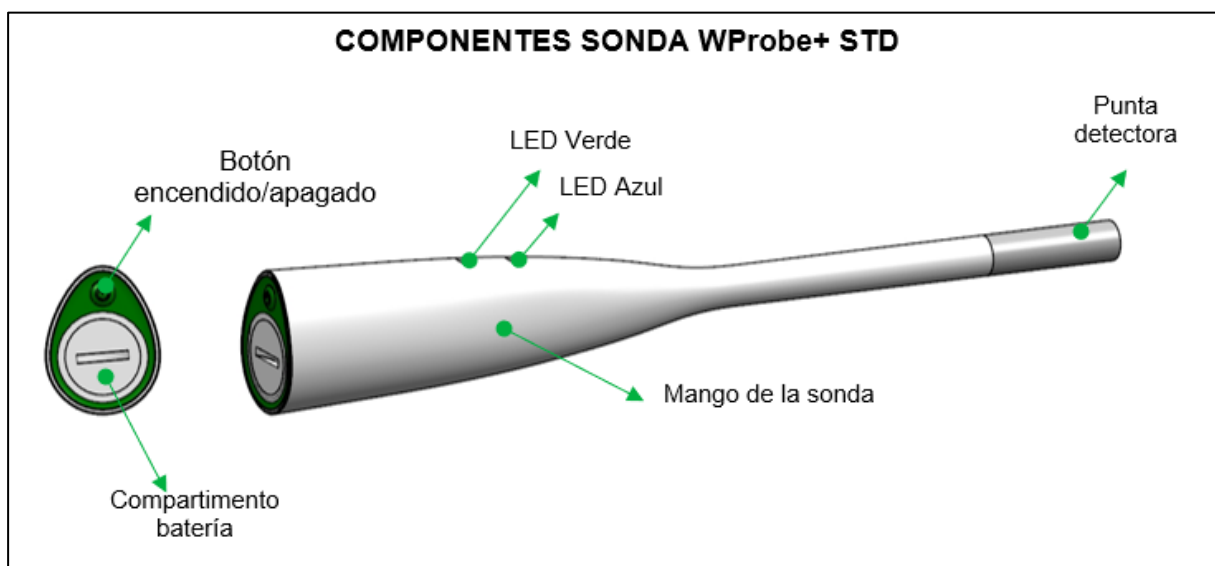


Figura 9. Componentes sonda WProbe+ STD.

La carcasa de la sonda está realizada en polifenilensulfona (PPSU) material plástico biocompatible y el mango de la sonda contiene los siguientes elementos:

- **LED azul:** indica que la conexión Wireless con la unidad de control se ha establecido correctamente,
- **LED verde:** indica que la sonda está encendida y que el estado de la batería es adecuado. Cuando la luz comienza a parpadear, indica que el usuario debe cambiar la batería lo antes posible.

- **LED rojo:** indica que la batería está completamente agotada, botón encendido/apagado de la sonda y por último el compartimiento de la batería (Figura 10).

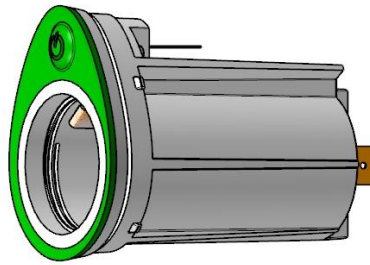


Figura 10. Compartimiento de la batería.

La parte interior de la sonda incluye toda la electrónica asociada al procesamiento de la señal eléctrica y el envío/recepción digital de información por radiofrecuencia y el compartimiento de la pila. La batería usa una pila de 3.0[V] CR123A de un solo uso. Esta batería puede reemplazarse abriendo el compartimiento usando el token proporcionado con el equipo.

La punta está realizada en aleación de titanio Ti6Al4V, que es un material biocompatible de acuerdo a los estándares ASTM B348-08a y F136, tiene un diámetro de \varnothing 11mm y longitud de 38mm. Tanto la punta como el mango de la sonda son partes aplicables del producto. La punta de titanio y la parte delantera de la sonda se introduce en el paciente durante la cirugía para localizar la fuente radiactiva. Para su embalaje y transporte se utiliza un maletín de plástico con espumas en el interior para evitar impactos y asegurar un correcto almacenamiento de la sonda.

4.1.3 Problemas ambientales en las sondas gamma

Las sondas gamma por pertenecer al campo de la medicina nuclear y según el Real Decreto 110/2015 se categorizan dentro de los productos sanitarios. Debido a la gran variedad de productos que se encuentran en el mercado y a las diversas especificaciones técnicas de los materiales utilizados en la fabricación de estos aparatos electrónicos, se hace muy difícil el proceso de separación y reciclaje de los residuos, ya que la composición de los materiales utilizados es muy diversa.

En la revisión bibliográfica no se encuentra un estudio en el que se identifiquen los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de las sondas gamma, pero sí que problemas ocasionan los materiales principales que componen las sondas gamma. Estos se distinguen en cinco grupos principales de materiales: metales férricos, metales no férricos, plástico, cristales y otros materiales.

Teniendo en cuenta que los materiales metálicos y plásticos son los de mayor porcentaje en peso, a continuación, se explica el proceso que se utiliza para recuperar o reciclar cada material, y las consecuencias que conlleva realizar estos procesos de fin de vida de los materiales:

- Los metales férricos y no férricos: se tratan mediante procesos de incineración donde se recuperan parte de materiales como el acero, aluminio y materias primas de mayor contenido, del resto de materiales en las aleaciones de los metales van a la basura. Este proceso puede suponer exposiciones a dioxinas y metales pesados poniendo en peligro la salud del trabajador que realice el proceso, por último, genera problemas ambientales asociados a emisión de dioxinas y metales pesados.
- Plásticos: se procesan mediante la fragmentación y fundición a baja temperatura para ser reutilizados en plásticos de baja categoría, esto probablemente suponga problemas en la salud humana y ambientales como la exposición a hidrocarburos, dioxinas brominadas y metales pesado.

4.1.4 Aspectos e Impactos ambientales

Para comprender la importancia que tienen los aspectos e impactos ambientales en el desarrollo del presente trabajo, se debe entender que el medio ambiente es el entorno natural en el que la empresa opera para llevar a cabo su actividad y en la que se encuentran sus instalaciones; entiendo que en el entorno se incluyen los recursos naturales, flora, fauna y los seres humanos con los que interactúa.

Conociendo la definición del medio ambiente, “se puede concretar que los aspectos ambientales son los elementos que interactúan o participan en actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente, y el impacto ambiental, es cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de aspectos ambientales de una organización[5]”.

La identificación de los aspectos ambientales es un proceso continuo, que determina impactos potenciales pasados, presentes o futuros, positivos o negativos, de las actividades de la organización sobre el medio ambiente.

Se puede decir que, los aspectos ambientales, son aquellas partes resultantes de una actividad, producto o servicio, que pueden repercutir sobre las condiciones naturales del medio ambiente, dando lugar a alteraciones o modificaciones específicas (impacto ambiental). Por lo tanto, deberá existir una relación causa (aspecto) y efecto (impacto) (ver Figura 11).

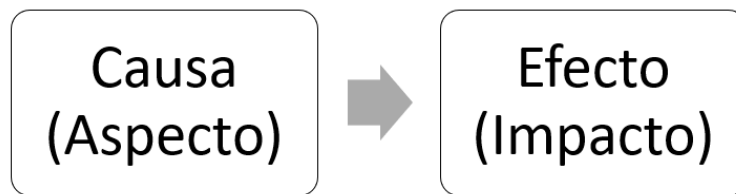


Figura 11. Relación causa efecto en el medio ambiente.

Algunos ejemplos de aspectos ambientales y sus impactos relacionados, pueden ser:

- Los residuos peligrosos como las baterías y pilas, produce contaminación del suelo y aguas subterráneas.
- Consumo de electricidad y gasóleo, tiene efecto en el agotamiento gradual de los recursos y daños en el entorno natural.
- Generación de ruidos/olores, repercuten sobre la calidad de vida del ser humano y contaminación del aire.
- Procesos de lavado y enjuagues, ocasionan reducción de recursos naturales y eutrofización de cuerpos de agua.

En la Figura 12, de la miniguía del taller identificación y evaluación de aspectos ambientales, editado por Ihobe S.A.[5], se exponen las posibles causas-efectos derivados de los diferentes aspectos ambientales y sus impactos. Teniendo en cuenta el área de incidencia donde interactúan o participan los elementos, se producen diferentes causas y efectos que repercuten negativamente sobre el medio ambiente.

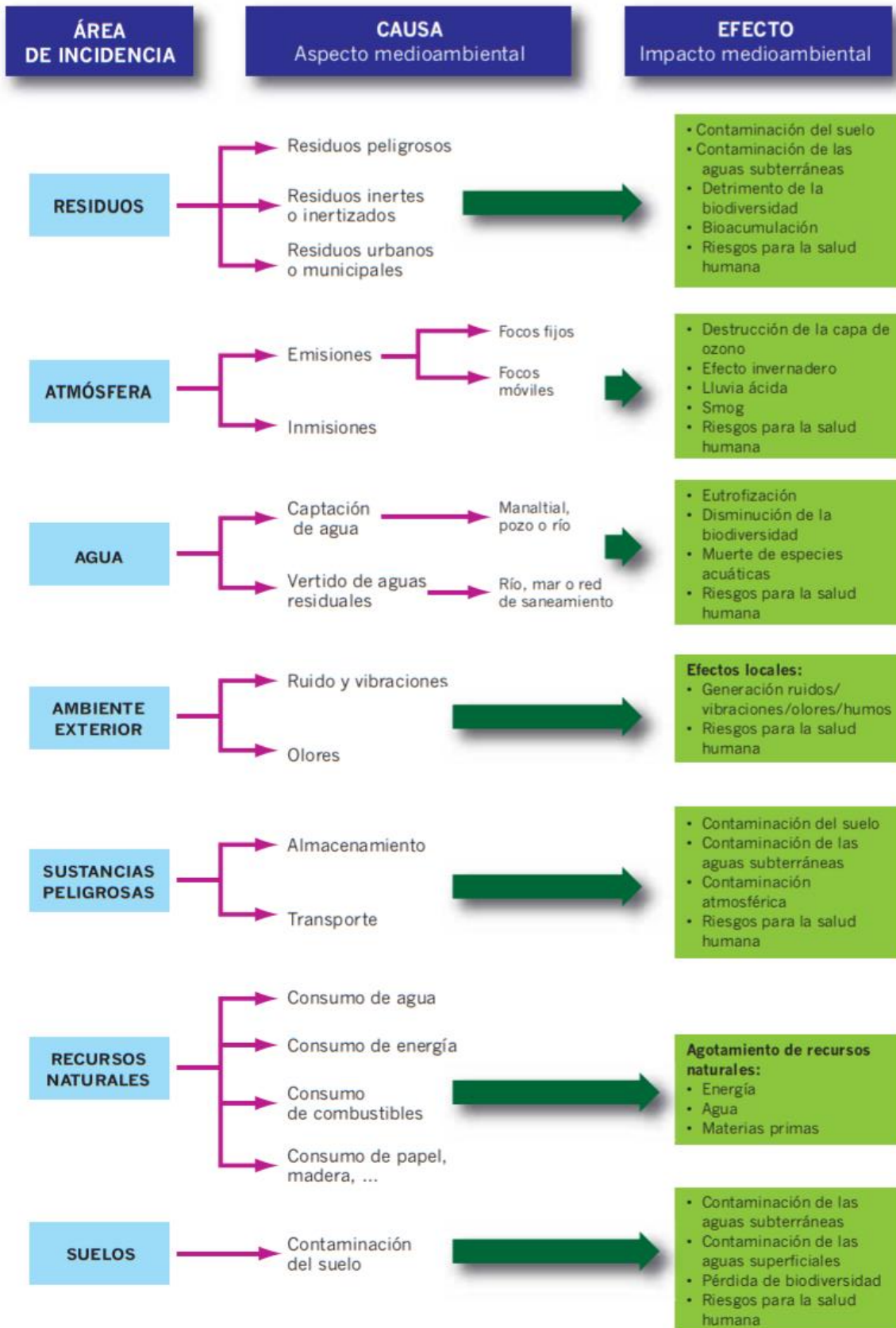


Figura 12. Posibles causas-efectos derivados de los diferentes aspectos ambientales y sus impactos [5].

Para identificar el impacto ambiental de un producto, se pueden emplear tres herramientas de impacto principales, la matriz MET, Eco indicadores y el ACV. La primera es la matriz MET, la cual es un método cualitativo que sirve para obtener una visión global de las entradas y salidas en cada etapa del ciclo de vida del producto.

La segunda herramienta son los Ecoindicadores, la cual a diferencia de la primera es cuantitativa y más precisa. Son valores numéricos en unidades de milipuntos [mPt] que expresan el impacto ambiental en función de la cantidad o el volumen de cada material o proceso.

Por último, el ACV es una “técnica para determinar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos potenciales asociados a estas entradas y salidas e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio[1]”. Para poder desarrollar un ACV, es necesario identificar las diferentes etapas del ciclo de vida de las sondas gamma, conociendo las entradas y salidas que tiene cada uno de estos.

4.1.5 Ciclo de vida de producto

En la literatura se encuentran diferentes definiciones que convergen en evidenciar las etapas de la vida de un producto. Iniciando por la extracción de materias primas, operaciones y procesos que se le realizan a las materias primas, seguido a esto la etapa de producción o montaje también conocida como ensamblaje del producto, posteriormente el transporte y distribución del producto, el uso y/o servicio que tiene el producto por parte del usuario y fabricante, y finalmente el retiro que dependerá si es sometido a reciclado, refabricado, reutilizado o disposición final.

En la Figura 13 se puede evidenciar las diferentes etapas que comprenden un ciclo de vida entiendo por este como; “todas las etapas de la vida de un producto, desde la producción de los componentes y materias primas necesarias para su obtención, hasta la eliminación del producto una vez que es desechado[6]”.

Según la norma UNE-EN ISO 14.040:2006, define producto como “cualquier bien o servicio[1]” que una empresa brinde a usuarios externos, como por ejemplo; el transporte, programas informáticos, partes o piezas mecánicas, lubricantes, reparaciones de automóviles, ambientes creados para el disfrute de usuarios, etc.

También, “desde el punto de vista de los fabricantes de productos, el ciclo de vida del producto comienza con el diseño del producto, seguido por la fabricación, el servicio y la remanufactura del producto, mientras que desde el punto de vista de los clientes industriales consiste en la compra, el uso y la eliminación del producto[7]”.

La vida de un producto empieza en el diseño y desarrollo del producto y termina al final de vida de las actividades que este realiza. Este ciclo está compuesto por cinco etapas las cuales permiten el desarrollo del producto desde el diseño conceptual, pasando por el diseño de detalle, hasta fabricación, embalaje, distribución, marketing, uso y mantenimiento, y por último la gestión de fin de vida del producto. A continuación, se describen las etapas del ciclo de vida de un producto:

- Adquisición de materias primas: Todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas y las aportaciones de energía del medio ambiente, incluyendo el transporte previo a la producción.
- Proceso y fabricación: Actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en el producto deseado. En la práctica esta etapa se compone de una serie de sub-etapas con productos intermedios que se forman a lo largo de la cadena del proceso.

- Distribución y transporte: Traslado del producto final al cliente.
- Uso, reutilización y mantenimiento: Utilización del producto acabado a lo largo de su vida en servicio.
- Gestión de los residuos: Comienza una vez que el producto ha servido a su función y se devuelve al medio ambiente como residuo.

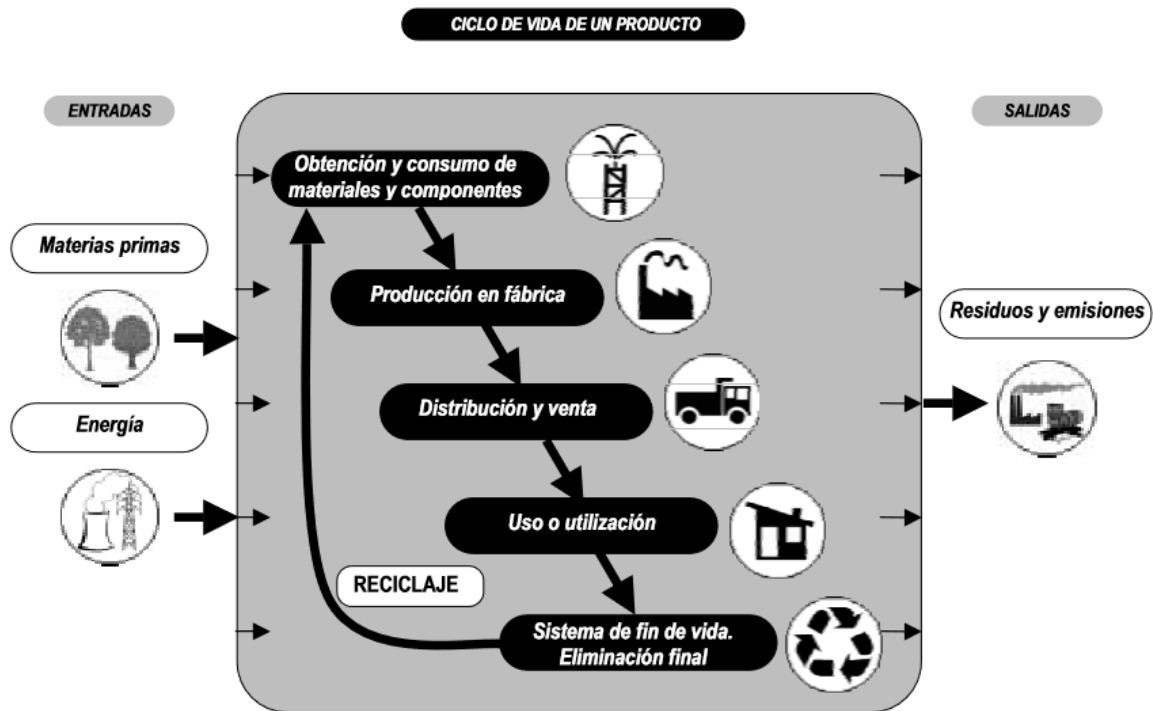


Figura 13. Ciclo de Vida de un Producto [6].

Finalmente, “la importancia del planteamiento de todo el ciclo de vida del producto radica en que permite identificar de un modo claro todas las entradas y salidas del proceso que suponen un impacto ambiental (no sólo las producidas en la propia fábrica o en una etapa concreta del Ciclo). El siguiente paso será reducir al mínimo la cantidad y la toxicidad de las entradas (materiales y energía) y las salidas (emisiones y residuos) en cada fase de dicho ciclo de vida del producto, o lo que es mejor, buscar el balance adecuado para minimizar el impacto global del producto en todo su ciclo de vida[6]”.

4.1.6 Análisis de ciclo de vida

El propósito de adoptar la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), en un estudio es cuantificar los posibles impactos ambientales de un producto o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida, incluyendo todas las etapas. Las normas establecidas de la familia ISO 14.040, proporcionan el marco para llevar a cabo dichos análisis. Los aspectos ambientales pueden ser también positivos y el ACV tiene la posibilidad de reconocerlos, haciendo que los resultados y el enfoque sea útil y adaptable con la realidad. La Comisión Europea también ha determinado que la metodología es el "mejor marco para evaluar el impacto medioambiental potencial de los productos[8]".

El ACV, tal y como se define en la norma UNE-EN ISO 14.040:2006: es la “Recopilación y evaluación de las entradas y salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto o a través de su ciclo de vida[1]”. En otras palabras, estudia los aspectos medioambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida del producto, desde la adquisición de las materias primas hasta la

producción, uso y eliminación. Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos naturales, la salud humana y las consecuencias ecológicas.

Los principios del ACV, son conceptos a tener en cuenta para la toma de decisiones relacionadas con la planificación, ejecución y control de un ACV. La norma UNE-EN ISO 14.040:2006 menciona siete principios fundamentales:

1. **Apreciación general del ciclo de vida;** la norma considera todas las etapas del ciclo de vida del producto, y así presenta una visión general en la que se puede identificar y evitar el desplazamiento de cargas ambientales entre los procesos individuales que componen una etapa, o entre etapas del ciclo de vida.
2. **Enfoque ambiental;** se consideran solo los aspectos e impactos ambientales, dejando por fuera los aspectos e impactos económicos y sociales.
3. **Enfoque relativo y unidad funcional;** se debe de establecer una unidad funcional que define lo que se está estudiando, de esta forma se relacionarán las entradas y salidas del ciclo de vida y la evaluación dependerá de dicha unidad.
4. **Enfoque iterativo;** “El ACV es una técnica iterativa. Las fases individuales de un ACV utilizan resultados de las otras fases. El enfoque iterativo en y entre las fases contribuye a la integridad y coherencia del estudio y de los resultados presentados[1]”.
5. **Transparencia;** con el fin de asegurar una interpretación de resultados adecuada, se pide transparencia en cada fase del análisis del ciclo de vida teniendo en cuenta la complejidad que este presenta.
6. **Integridad;** se considera todos los atributos o aspectos del entorno de recursos naturales, de la salud humana y de los recursos.
7. **Prioridad del enfoque científico;** las decisiones que se tomen en el ACV se basan preferentemente en las ciencias naturales, teniendo en cuenta que el enfoque es ambiental.

Según la Sociedad de Toxicología y Química Ambientales (SETAC) (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*), el ACV representa una manera de analizar las cargas ambientales asociadas al ciclo de vida de un producto o servicio, desde la cuna hasta la tumba.

El proceso de la cuna a la tumba empieza con la extracción de las materias primas necesarias para crear el producto y finaliza cuando todos los materiales retornan a la tierra. La metodología del ACV analiza todas las etapas del ciclo de vida del producto desde la perspectiva de que todas ellas son interdependientes, es decir, que un proceso conduce al siguiente.

En la Figura 14, se pueden observar los beneficios de la aplicación del ACV ofrece, convirtiendo se en ventajas competitivas para los productos en la que la metodología es implementada ya que permite la mejora en el diseño del producto, la obtención de información ambiental, el marketing, beneficios económicos y por último se crean herramientas de gestión ambiental.



Figura 14. Beneficios de un ACV.

- En la mejora de diseño de productos el ACV ayuda a la toma de decisiones durante la etapa de diseño o rediseño, con los resultados de un ACV se pueden comparar los impactos ambientales de las diferentes alternativas de diseño.
- La obtención de información ambiental cada vez se hace más necesario en la visión del ciclo de vida de un producto, ya que ofrece información sobre los impactos ambientales que sus productos presentan en cada fase.
- El ACV puede ser utilizado como una herramienta de marketing, ya que, si se ha implementado durante el desarrollo de un producto, este producto puede ser menos dañino para el medio ambiente. El uso del ACV puede convertirse en una fuerza motriz para que los consumidores prefieran los productos de menor impacto ambiental.
- Beneficios económicos, por medio del ACV se puede identificar en que fase o proceso de un ciclo de vida de un producto se producen los principales impactos. Estos impactos pueden ser reducidos incrementando la eficiencia en el uso de los diferentes consumos de materiales y energía. Incrementando la eficiencia en el uso de los recursos se puede reducir la cantidad de los mismos que es utilizada, así como de los residuos producidos y, en consecuencia, reducir los costes.
- El ACV como herramientas de gestión ambiental, ya que puede ser incorporado en los sistemas de gestión ambiental y en los procesos de etiquetado ecológico que las empresas tienen.

Las principales aplicaciones de los ACV son:

- Diseño de ecoproductos o Ecodiseño; aquí el ACV demuestra todo su potencial, permitiendo prever los impactos ambientales que tendrá el producto desde la etapa de diseño, consiguiendo que se puedan conseguir soluciones de mejoras ambientales a bajo coste en el producto. Estas mejoras se pueden alcanzar por medio de la minimización o reducción de volumen y cantidad

de materiales, la utilización de materias primas menos dañinas con el entorno, la optimización de procesos de fabricación y aumentando la durabilidad y reciclabilidad que tiene el producto.

- Gestión de recursos; el ACV, de forma objetiva ayuda a establecer los criterios para aplicar el porcentaje de residuos que irán a cada sistema de gestión con la finalidad de conseguir el menor impacto ambiental posible.
- Ecoetiquetas; el ACV es una de las herramientas que permite medir los criterios ambientales que la entidad certificadora establece para productos que se aspiren a conseguir una etiqueta ecológica ambiental.

Finalmente, el ACV es una herramienta comparativa que puede ayudar a incrementar la competitividad de un producto con respecto a otro mediante:

- El cálculo del consumo de energía y las emisiones ambientales de distintos productos o procesos. Esto podrá ayudar a la empresa a escoger las opciones ambientalmente mejores y menos costosas económicamente.
- La evaluación de los impactos ambientales asociados a cada opción y su valor social derivado. Los productos ecológicos pueden ser promocionados utilizando argumentos relativos a los problemas sociales, así como a los impactos ambientales.

4.1.7 Metodología de ACV

Las normas UNE-EN ISO 14.040:2006 Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Principios y marco de referencia, y UNE-EN ISO 14.044:2006 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Requisitos y directrices, constituyen el marco de referencia y establecen la metodología necesaria para realizar un estudio de ACV.

La norma ISO 14040:2006 establece que hay cuatro fases en una ACV: (1) la definición del objetivo y alcance, (2) el inventario del ciclo de vida, ICV, (3) la evaluación del impacto del ciclo de vida, EICV, y, (4) la interpretación. La relación entre las fases se ilustra en la Figura 15, “La primera fase incluye la planificación del estudio y el esbozo de los detalles del encuadre, mientras que la segunda fase incluye la recogida de todos los datos necesarios y la modelización del sistema en estudio. En la tercera fase, los datos son mapeados a varias categorías de impacto y en la fase final, los resultados son interpretados y analizados[9]”.

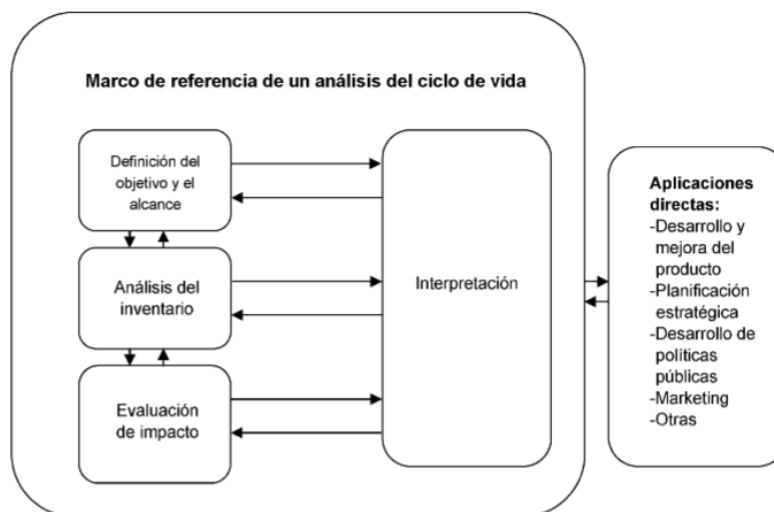


Figura 15. Etapas de un ACV [1].

4.1.7.1 La definición del objetivo y del alcance

Se debe precisar los objetivos que motivan el estudio, así como los límites del sistema a analizar e identificar los componentes del ciclo de vida (ej. extracción, transporte, almacenamiento, producción, consumo, reciclaje, disposición final de residuos, etc). se debe considerar los siguientes aspectos para definir el alcance del ACV:

- Objetivo del estudio.
- Alcance del estudio.
- Función y unidad funcional.
- Límites del sistema.
- Metodología del EICV y los tipos de impactos.

4.1.7.2 Análisis de Inventario del ciclo de vida

El análisis de inventario es un balance de materia y energía del sistema, aunque puede incluir otros parámetros, tales como: utilización del suelo, radiaciones, ruido, vibraciones, biodiversidad afectada, etc. Comprende la recopilación de los datos y la realización de los cálculos adecuados para cuantificar las entradas y salidas del sistema estudiado. Las entradas; son las materias primas y las fuentes de energía, y las salidas; son las emisiones al aire, al agua y al suelo, y los productos.

Cuando se ejecuta un plan para el análisis del inventario del ciclo de vida, se deberían de realizar los pasos que se describen en la Figura 16. En la norma UNE-EN ISO 14.044:2006 en el apartado 4.3 se describen con mayor claridad cada uno de los pasos a realizar en el análisis del inventario.

El procedimiento recomendado para realizar el análisis del inventario se resume en las siguientes etapas: definición de objetivo y alcance, recopilación de datos, calculo de datos y asignación de flujos y de emisiones y vertidos.

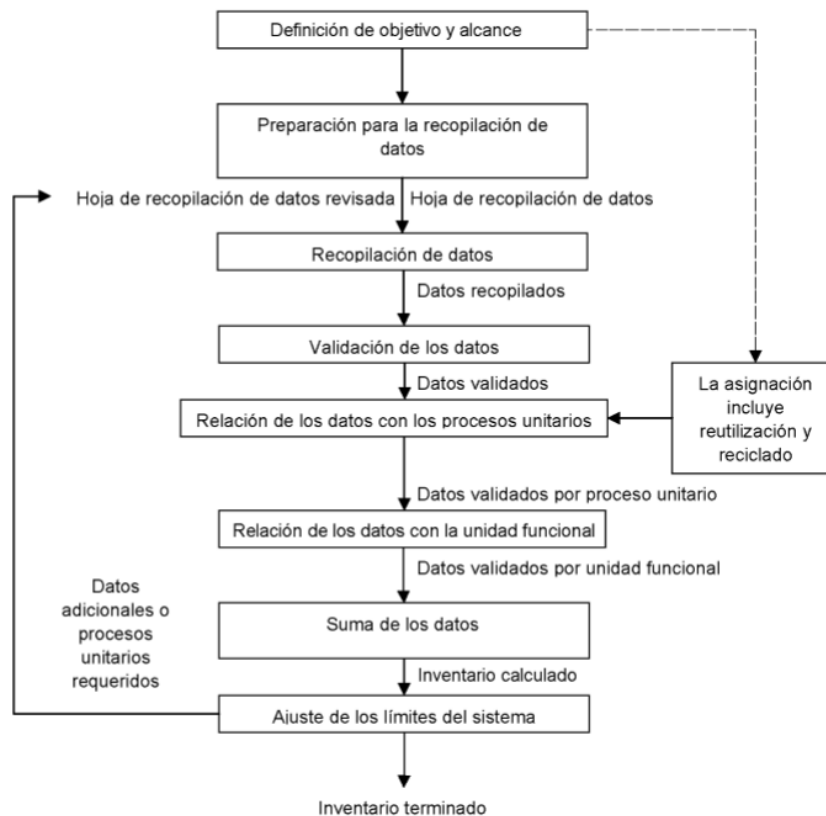


Figura 16. Procedimientos simplificados para el análisis del inventario [10].

4.1.7.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida

Esta fase tiene como propósito evaluar cuán significativos son los impactos ambientales potenciales utilizando los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida. La evaluación del impacto del ciclo de vida EICV, es un proceso cuantitativo y/o cualitativo mediante el que se caracterizan y evalúan los efectos de las intervenciones medioambientales identificadas en el inventario. También pueden incluir juicios y aspectos sobre beneficios medioambientales relativos, así como una comparativa de los inconvenientes de los diferentes sistemas.

La EICV está constituida por elementos obligatorios y opcionales. Los siguientes elementos son obligatorios:

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización.
- Asignación de resultados del análisis del inventario a las categorías de impacto seleccionadas.
- Cálculo de los resultados de indicadores de categoría.

Además de los elementos obligatorios también podías haber elementos e información opcional que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del ACV. En la Figura 17 , se indican los elementos que pueden hacer parte de un EICV según la norma UNE-EN ISO 14.040:2006.

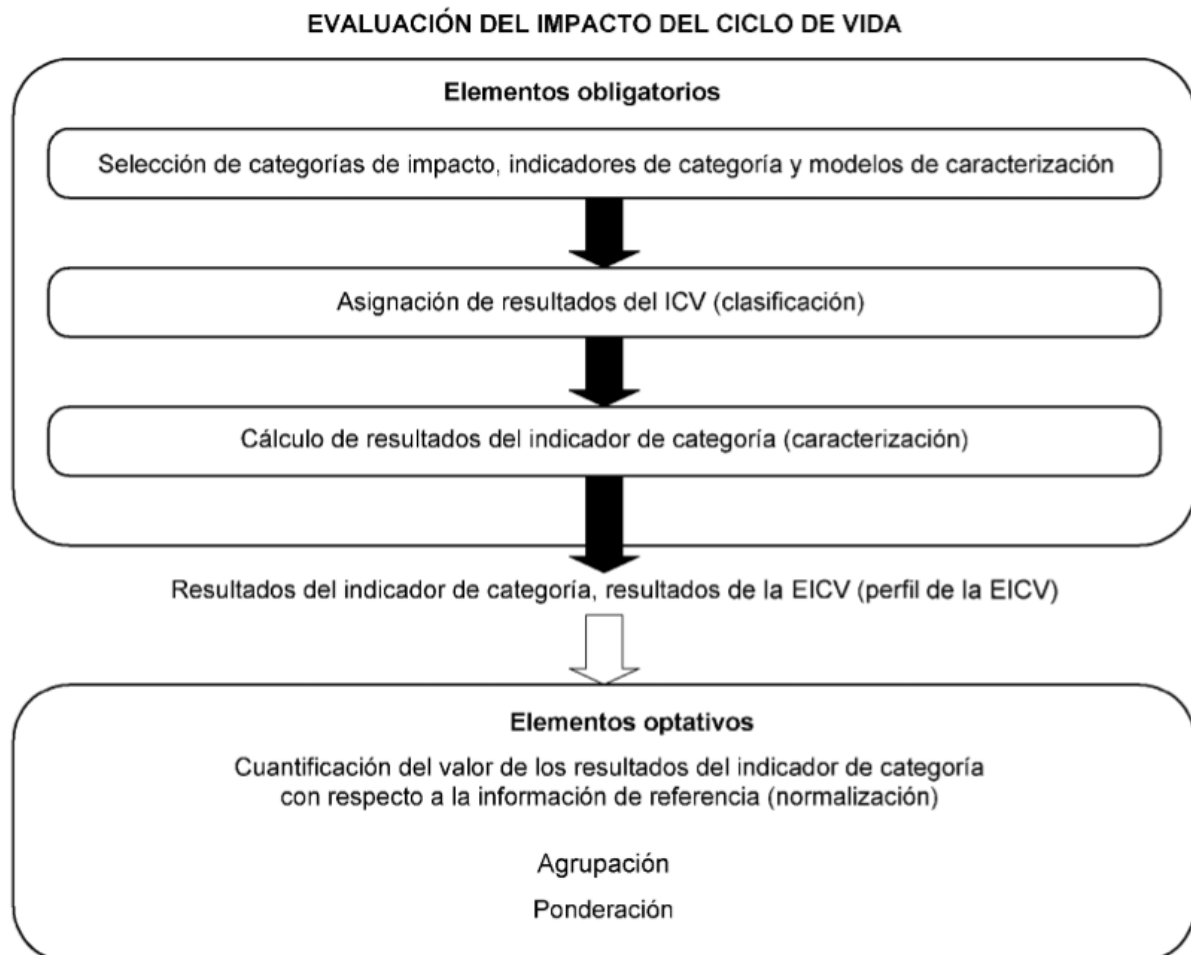


Figura 17. Elementos de la fase EICV[1].

Las etapas generales del EICV son:

- Clasificación, etapa donde las cargas ambientales obtenidas en el inventario se agrupan en diversas categorías, en función del tipo de impacto potencial al cual puedan contribuir.
- Caracterización, se evalúa el efecto total del sistema producto sobre cada una de las categorías de impacto ambiental. Consiste en agregar los datos de las diferentes cargas ambientales dentro de cada categoría de impacto, teniendo presente en que grado contribuye cada contaminante a aumentar un determinado impacto.
- Normalización, consiste en evaluar los datos procedentes de la caracterización.
- Valoración, se trata de ponderar la importancia relativa de cada categoría de impacto respecto al resto de categorías.

4.1.7.4 Interpretación del ciclo de vida

En esta fase de la metodología del ACV, los resultados del análisis de inventario con la evaluación de impacto, pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance definidos.

La fase comprende varios elementos, según la Figura 18, se puede observar la relación que hay entre los elementos de esta fase con las fases anteriores. Los elementos son; la Identificación de los asuntos significativos basados en los resultados, una evaluación que considera las verificaciones de loa análisis y las conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

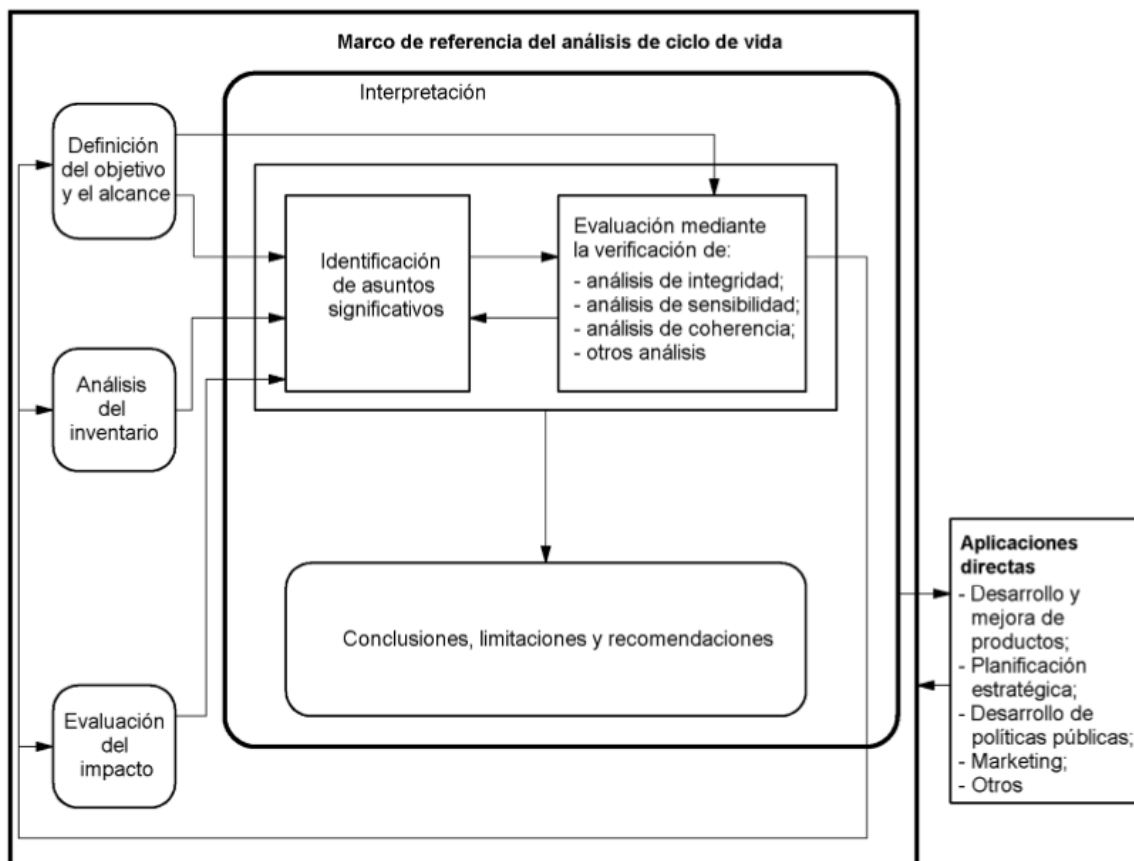


Figura 18. Relaciones entre los elementos en la fase de interpretación con las otras fases del ACV [10].

4.1.8 Herramientas para ACV

Realizar un ACV significa tratar con una gran cantidad de información. Para estudios pequeños es posible realizarlo sin la ayuda de herramientas como software especializados, pero, sin embargo, para estudios más exhaustivos estas herramientas son necesarias. Existen varios programas comerciales disponibles, que permiten realizar este tipo de análisis, entre los más utilizados se encuentran Ecoscan, GaBi, Kcl-Eco, Lcait, Team y SimaPro. En el desarrollo del presente análisis se utilizará SimaPro (Figura 19), concretamente la versión *Classroom 8.3.0.0 Multi user*.

SimaPro es el software de ACV “líder en el mundo académico y la industria, con usuarios en más de 80 países alrededor del mundo. SimaPro permite hacer el cálculo de los impactos ambientales, sociales y económicos asociados a un producto, servicio u organización a lo largo de todo su ciclo de vida[11]”.



Figura 19. Logo de software SimaPro.

Las aplicaciones de SimaPro son: análisis del ciclo de vida, cálculo de la huella hídrica, obtención de indicadores ambientales, cálculo de huella de carbono, ecodiseño y desarrollo de ecoetiquetas. La aplicación de ACV, permite cuantificar el comportamiento medioambiental de los productos teniendo en cuenta el ciclo de vida completo.

SimaPro incorpora una de las bases de datos más importante y transparentes como es Ecoinvent y la metodología de cálculo de impactos ReCiPe.

Ecoinvent ofrece una base de datos actualizada con información científica de carácter internacional, contiene aproximadamente 10000 conjuntos de datos para productos, servicios y procesos normalmente usados en ACV, cubriendo las siguientes áreas que se tratarán en el desarrollo del presente trabajo:

- Suministro de energía.
- Biocombustibles y biomateriales.
- Productos a granel y productos químicos especializados.
- Metales.
- Productos electrónicos.
- Ingeniería mecánica.
- Plásticos.
- Tratamiento de residuos.

ReCiPe es el enfoque de indicadores más reciente y armonizado disponible en la evaluación del impacto del ciclo de vida. El objetivo principal del método ReCiPe, “es transformar la larga lista de resultados del inventario de ciclo de vida, en un número limitado de puntajes de indicadores. Estas puntuaciones de los indicadores expresan la gravedad relativa en una categoría de impacto ambiental[12]”. Algunas de las ventajas del marco ReCiPe en relación con otros enfoques incluyen; el conjunto de datos más amplio de categorías de impacto en el punto medio, utiliza mecanismos de impacto que tienen alcance global, y no incluye los impactos potenciales de futuras extracciones en la evaluación de impacto, pero asume que dichos impactos se han incluido en el análisis de inventario.

4.2 Marco Legislativo y Normativo

Para las sondas gammas, en su etapa de marcado de CE, se realiza la declaración de conformidad donde se certifica que el equipo es conforme con las disposiciones de las siguientes directivas CE:

- Directiva 93/42/EEC de 14 de junio de 1993: Productos Sanitarios y sus modificaciones. *93/42/EEC Directive of 14th of June 1993 of Medical Devices and its amendments.*
- Directiva 2006/42/CE de 17 de mayo 2006 relativa a las máquinas. *2006/42/EC of 17th of May 2006 on machinery.*
- Directiva 2002/96/EC de 27 de enero de 2003 sobre Residuos de equipos eléctricos y electrónicos y sus modificaciones. *2002/96/EC Directive of 27th of January 2003 of Waste electrical and electronic equipment (WEEE) and its amendments.*
- Directiva 2013/59/EURATOM de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes y sus modificaciones. *Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation.*

Para el desarrollo del presente trabajo en la aplicación de la metodología de ACV y la normalización del trabajo se tendrán en cuenta las siguientes:

- Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), define que los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) son “todos los aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos, que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1.000 voltios en corriente alterna y 1.500 voltios en corriente continua[13]”, teniendo en cuenta esta definición consideramos la sonda gamma como un AEE.
En el anexo I del Real Decreto 110/2015, las sondas gamma es un aparato de medicina nuclear y por lo tanto se categoriza en el ítem 8 de productos sanitarios, este decreto tiene objetivo regular la prevención y reducción de los impactos adversos causados por la generación y la gestión de los residuos de los AEE sobre la salud humana y el medio ambiente.
- La ISO (*International Organization for Standardization*) es una organización privada internacional, que incluye algunos organismos nacionales tanto de los países industrializados como de los que están en desarrollo, cuyo objetivo es normalizar un amplio grupo de productos y actividades. Las normas ISO sobre ACV hacen referencia a los aspectos técnicos y de organización para el desarrollo de un estudio de ACV. Los aspectos organizativos se centran en el diseño del proceso de revisión crítica, dando una atención especial a las declaraciones públicas.

Para quienes realizan un ACV las normas UNE-EN ISO 14.040:2006 Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Principios y marco de referencia, y UNE-EN ISO 14.044:2006 Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Requisitos y directrices, constituyen el marco de referencia y establecen la metodología necesaria para realizar el estudio.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

El enfoque cuantitativo en un problema de investigación permite explorar, describir, relacionar y explicar las variables dependientes del estudio, todo esto siendo útil para evaluar, comparar, interpretar, establecer precedentes y determinar causalidad y sus implicaciones en la metodología ACV y así poder comparar los resultados obtenidos en los ciclos de vida de las dos sondas gamma.

5.1 Tipo de estudio

Para el desarrollo del trabajo se establece el tipo de estudio explicativo los cuales “van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales[14]”.

Como el objetivo de la presente investigación es evaluar los impactos ambientales generados en los ciclos de vida de las sondas gamma WProbe y WProbe+, este tipo de estudio se centra en explicar porque ocurren estos impactos y en qué condiciones se manifiesta o porque se relacionan con las demás variables de investigación.

5.2 Metodología

La metodología de análisis de ciclo de vida ACV en las sondas gamma, permite iniciar la identificación de una de las partes que componen el análisis de inventario en la realidad. De esta manera se puede establecer la relación causa-efecto entre los elementos que componen el objeto de investigación del presente estudio comparativo. “La norma UNE-EN ISO 14.040:2006 definió cuatro fases principales de estudio en el análisis del ciclo de vida, cada una afectando las otras fases de alguna manera [15]”, por tal motivo la metodología a desarrollar en el presente documento se encuentra enmarcada en dicha norma, ver Figura 15.

5.3 Fuentes de recolección de información

5.3.1 Fuentes Secundarias

Aportan información escrita que ha sido recopilada y transcrita por personas que han recibido tal información a través de otras fuentes escritas o por un participante en un suceso o acontecimiento. Pueden ser textos, revistas, documentos, trabajos de grado, manuales de usuarios y otros.

5.3.2 Fuentes Primarias

Aportan información oral o escrita que es recopilada directamente por el investigador a través de relatos o escritos transmitidos por los participantes en un suceso o acontecimiento. Implican el uso de técnicas y procedimientos que suministren la información adecuada, como son: observación, encuestas, cuestionarios, entrevistas y fotografías.

6. DESARROLLO DEL TRABAJO

Las sondas gamma WProbe y WProbe+ son fabricadas por la empresa Oncovision, y se utilizan en la técnica de detección del ganglio centinela. La sonda WProbe+ es una nueva versión de la sonda y en su fase de diseño no fueron tenidos en cuenta los impactos ambientales producidos por su ciclo de vida. Teniendo en cuenta esto, la empresa considera importante realizar una comparativa de sus ciclos de vida para evaluar si su nueva sonda produce menos, igual o mayor impacto ambiental.

Teniendo en cuenta esto se realiza el análisis de ciclo de vida de las dos sondas gamma, este análisis se implementa según lo establece las normas UNE-EN ISO 14.040:2006 y UNE-EN ISO 14.044:2006. Se tienen en cuenta las cuatro fases que presenta la norma, a continuación, se presenta el desarrollo de cada fase.

6.1 Definición del objetivo y del alcance

6.1.1 Objetivo del estudio

El presente estudio se aplicará en las sondas gamma WProbe y WProbe+ modelo estándar (STD) de la empresa Oncovision S.A., con el fin de comprar los impactos ambientales que tienen estos dispositivos utilizados en la práctica de la medicina nuclear y así plantear posibles mejoras para una nueva versión de las sondas.

El estudio se realiza por necesidad de la empresa fabricante de las sondas gamma, la cual pretende establecer un precedente en futuros diseños donde se tengan en cuenta el factor del medio ambiente, de esta forma contribuye a la mejora ambiental y a crear nuevos dispositivos que tengan bajo impacto sobre el medio ambiente.

El resultado del presente estudio será comunicado al área de I+D de la empresa, así como a sus desarrolladores, investigadores y equipos de diseño asociados a la misma, también se presentará en la comunidad investigadora en temas de ACV y equipos de medicina nuclear, y, por último, en el entorno académico de la Universidad Politécnica de Valencia.

Los resultados cuantitativos servirán para hacer una comparación de la primera sonda gamma WProbe con respecto a la nueva versión de la misma WProbe+, estos datos serán divulgados con el fin de establecer precedentes en relación a los impactos ambientales generados por los equipos utilizados en la medicina nuclear teniendo en cuenta que son resultados de un trabajo académico, y se pretende que en futuros diseños sean tenidos en cuenta estos resultados.

6.1.2 Alcance del estudio

Para definir el alcance del ACV de las sondas gamma, se deben de considerar y describir los siguientes ítems.

6.1.2.1 El sistema del producto bajo estudio.

En la Figura 20, se evidencia el esquema del proceso del sistema producto de la sonda WProbe y WProbe+, con el proceso de calidad que tiene la sonda en cada proceso que se lleva a cabo, desde la solicitud a proveedores hasta la entrega a clientes.

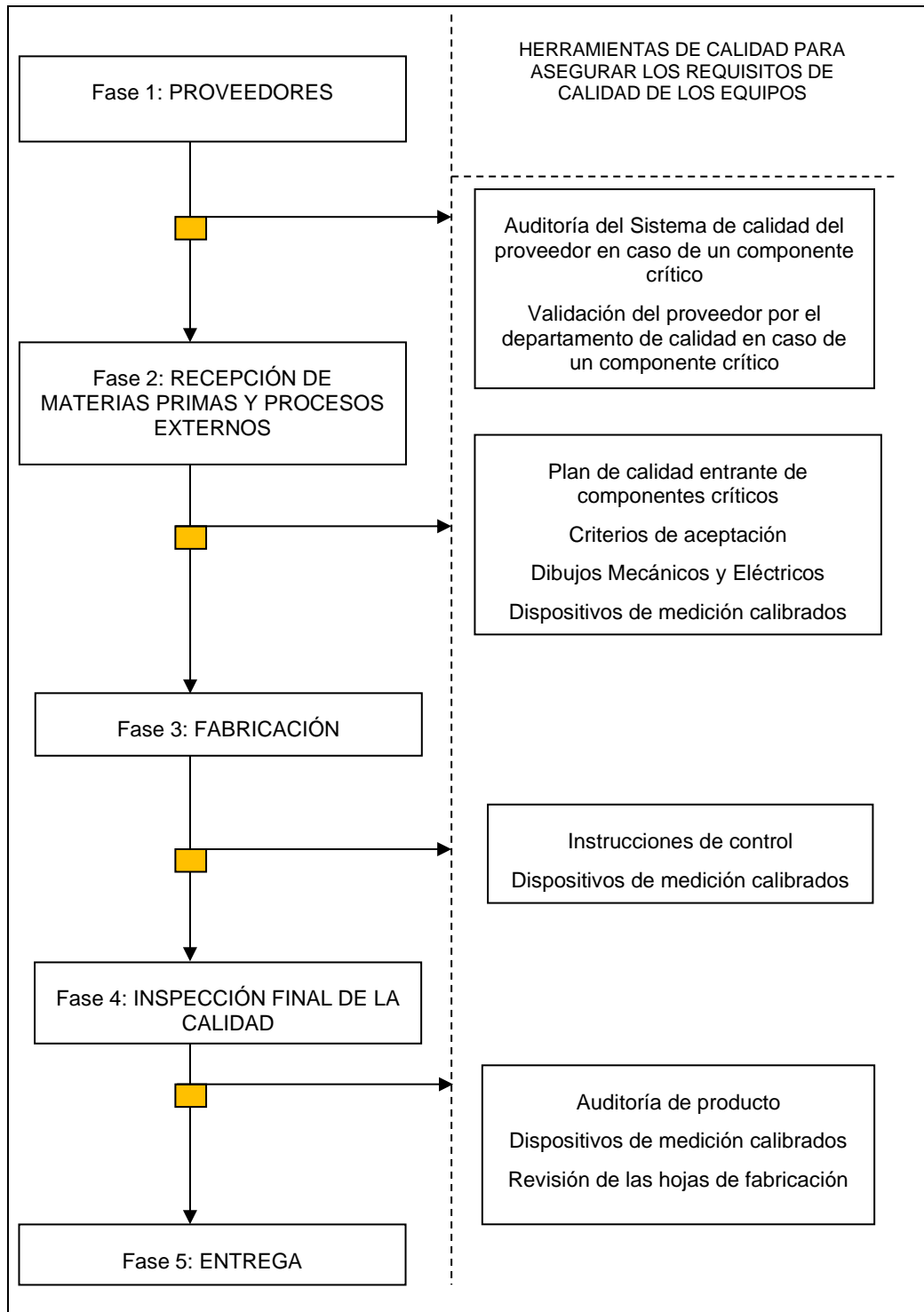


Figura 20. Esquema del proceso del sistema producto, sondas gamma WProbe y WProbe+.

En el proceso de montaje y ensamblaje de las sondas se decidió por hacer grupos de elementos, para facilitar el montaje del ciclo de vida y la agrupación de las piezas según su montaje. En la Tabla 1, se evidencia los grupos de montaje de las sondas gamma.

Montaje Sonda Gamma	
WP+	WP
Piezas Externas	Piezas Externas
Cabezal	Punta
Portapilas	Portapilas
PCB Control	Rack Control
Empaque	Empaque

Tabla 1. Grupos de montaje Sondas Gamma.

En la Figura 21 y en la Tabla 2, se puede observar que para la WProbe hay un total de 56 ítems de piezas que componen la sonda y un total de piezas por sondas de 91, que permiten que está cumpla la función para la que fue diseñada y fabricada. Entre los materiales más utilizados están: aluminio, plásticos, ferrita, cables, tarjetas electrónicas, titanio y tungsteno.



Figura 21. Despiece de Sonda WProbe.

Montaje Sonda Gamma WProbe			
Ítem	Nº	Descripción	Cant. Por Sonda
1	PD-0147	Manual WPROBE inglés_Rev. 17	1
2	MC-9262	Maletín Topstar IV	1
3	MC-9262-1	Espuma interior maletín	1
4	MC-9273	Caja cartón RAJABOX 60x60x30cm	1
5	MC-6004	Aislante Polietileno (Espuma)	1
6	MC-6008	Papel Burbuja	1
7	MC-9274	Clavo Remachable Ø4,8x16 Alumi	6
8	MC-9275	Clavo Remachable Ø4,8x21 Alumi	8
9	MC-9276	Kit de ruedas y asa WProbe	1
10	EC-0257	Pantalla EMI para PCB WProbe	2
11	EC-0266	F Ferrita Torroidal 742701716	1

12	EC-0267	F Ferrita FLAT 74278082	1
13	EC-1625	SHR-07V-S-B - CAJA CONECTOR, 7	2
14	EC-1626	F SH3-SS5-28150- CABLE, HEMBRA	12
15	EC-1633	Capucha transparente 1JS11 par	1
16	EC-1634	F Cable Plano WP: MOLEX - 98	1
17	IC-0623	Módulo Bluetooth montado y programado	1
18	EC-9164	Pila litio alta capacidad 3,6V 8500 mAh	1
19	IC-0668	PE-SWMPPC-V4-M-V Placa punta	1
20	IC-0671	PE-SWBAT-V4-M-V Placa pila WPR	1
21	IC-0672	PE-SWBOT-V2-M-V Placa botones	1
22	IC-0855	Placa de control 3v PE-SWP-V5	1
23	MC-0109	F Junta Tórica OR 5.28x1.78	1
24	MC-0142	F Tuerca M3 DIN-934 A2	1
25	MC-0146	F Cinta adhesiva metalizada	1
26	MC-0148	F Tornillo DIN-7991 M3x8 A2	2
27	MC-0375	F Tornillo DIN-912 M2x10 Acero	4
28	MC-0412	F Tornillo DIN-7991 M3x30 A2	1
29	MC-0442	F Separador M2 4mm Nylon	2
30	MC-0443	F Tornillo M2x16 avella Nylon	2
31	MC-0444	F Tuerca M2 Nylon	2
32	MC-0603	F Esparrago M5x12	2
33	MC-0629	F Junta tórica 10.1 x 1.6mm	1
34	MC-0630	Junta Tórica 10.5x2	1
35	MC-0631	Junta Tórica 29.1x1.6	1
36	MC-0632	Junta Tórica 37x2.5	1
37	PM-0050	Cartucho 1 WP	1
38	PM-0051	Cartucho 2 WP	1
39	PM-0052	Cartucho 3 WP	1
40	PM-0093	Cartucho 4 WP	1
41	PM-0505	F Abrazadera sujeción plana	1
42	PM-0634	Separador tapa-pulsador WProbe	1
43	PM-3032	Colimador WP	1
44	PM-3042	Casquillo Apriete WP	1
45	PM-3043	Filtro Anillo WP	3
46	PM-3057	Filtro Anillo L	1
47	PM-3058	Cartucho electrónico WP	1
48	PM-9094	Puntera 140 WP	1
49	PM-9098	Rosca Apriete WP	1
50	PM-9183	WPROBE rack mango	1
51	PM-9184	WPROBE tapón mango	1
52	PM-9186	WPROBE bala mango	1
53	PM-9187	WPROBE tapa mango	1
54	DC-0203	Guía de luz pulida larga	1
55	EC-0018	CsI (TI) Cristal 4.9mm día X 10	1
56	PM-1132	Tapa Aluminio D5 WP	1
		Total, piezas=	91

Tabla 2. Jerarquía piezas de Sonda WProbe.

En la Figura 22 y la Tabla 3, se puede observar que para la WProbe+ hay un total de 40 ítems de piezas que componen la sonda y un total de piezas por sondas de 51, que permiten que está cumpla la función para la que fue diseñada y fabricada. Entre los materiales más utilizados están: plásticos, ferrita, cables, tarjetas electrónicas, titanio y tungsteno.



Figura 22. Despiece de Sonda WProbe+.

Montaje Sonda Gamma WProbe+			
Ítem	Nº	Descripción	Cant. Por Sonda
1	EC-9422	Pila CR123A 3V, 1700mAh	1
2	MC-1127	Tokens	5
3	MC-9317-1	Maletín de transporte STA 300 B 43	1
4	MC-9317-2	Bolsa Maletín	1
5	MC-9317-3	Caja de cartón	1
6	PM-9300	Conjunto de espumas maletín WProbe+	1
7	PD-0156	Etiqueta logo Oncovision maletín equipos	1
8	PD-0160	Manual usuario WPROBE PLUS EN	1
9	PD-0169	Tarjeta Oncovision maletín equipos	1
10	MC-6004	Aislante Polietileno (Espuma)	1
11	MC-6008	Papel Burbuja	1
12	MC-6000	Film de empaque	1
13	DC-0011	Cristal GAGG 4.25mm STD/LAP	1
14	EC-1022	Interruptor EVQ-11L09K 20mA 15VDC	1
15	EC-1626	Conjunto cable rojo, conector hembra crimpado,5.9"	4

16	EC-8091	Cable Omnetics conexión punta WProbe PLUS	1
17	EC-9416	O_Borne positivo para pila en trasera portapilas	1
18	EC-9417	O_Borne negativo para pila en lateral portapilas	1
19	EC-9606	Carcasa de conector, 1mm,2contactos, hembra	2
20	IC-1215	Cuerpo portapilas WProbe+ montado	1
21	MC-0600	Junta tórica 16mm, 1mm sec	1
22	MC-0639	Junta tórica 29x1 portapilas	1
23	MC-0640	Junta tórica 7x1.5 cuello 11mm STD/LAP	1
24	MC-0646	Junta tórica 3x1 de placa SiPM 3x3	1
25	MC-0647	Junta tórica 7x1 de placa SiPM 6x6	1
26	MC-0648	Tornillos de cabeza redonda PM 1,4 x 4 mm Phillips	4
27	MC-9619	Tubo cobre 4 x 500mm	1
28	MC-9620	Lamina cobre para apantallamiento placa electrónica	1
29	PE-1046	Placa control WProbe Plus	1
30	PE-1047	Placa SiPM 3x3 WProbe Plus	1
31	PM-0602	Tapa portapilas WProbe Plus	1
32	PM-0604	Cuerpo mango STD WProbe Plus	1
33	PM-0616	Capuchón interruptor WProbe Plus	1
34	PM-0617	Anclaje interruptor WProbe Plus	1
35	PM-3083	Blindaje tungsteno punta STD/LAP WProbe Plus	1
36	PM-3085	Tapa blindaje tungsteno punta STD/LAP	1
37	PM-9256	Casquillo titanio 11mm STD/LAP WProbe Plus	1
38	PM-9295	Contacto positivo tapa WProbe Plus	1
39	PD-0157	Etiqueta interna IC-1150 STD	1
40	PD-0175	Etiqueta de pila en papel transparente	1
		Total, piezas=	51

Tabla 3. Jerarquía piezas de Sonda WProbe+.

6.1.2.2 Las funciones del sistema del producto

Las sondas gamma WProbe y WProbe+, son sondas de detección de radiación ionizante inalámbrica para uso en el entorno médico. El instrumento está optimizado para detectar un rango determinado de energías de radiación gamma y maximizar la sensibilidad y la direccionalidad. Para una mayor comprensión del funcionamiento de las sondas ir al apartado 4.1.2.

6.1.2.3 Unidad funcional

Se considera como unidad funcional el uso durante 2125 horas (500 ciclos, cada ciclo de 4,25 horas) de la sonda gamma para la detección del ganglio centinela en centros médicos ubicados en diferentes zonas geográficas.

6.1.2.4 Límites del sistema

El ACV de las sondas se realizará desde la cuna a la tumba, es decir desde la obtención de recursos hasta el fin de vida de la sonda, pero se presentan las siguientes limitaciones que se deben de considerar:

1. En las entradas de material se consideran las piezas que componen las sondas gamma, la batería y el empaque para su distribución.
2. Quedan excluidos del estudio los siguientes dispositivos: Tablet IMT-BT Adlik 10.1" de grado médico, la base de carga, el cargador y el cable fuente. Esto se debe a que los dispositivos son

los mismos para las dos sondas, por lo tanto, su entrada y salida va a ser igual para ambos ACV, y no agregan valor determinante en la etapa de diseño de las sondas.

6.1.2.5 Metodología del EICV y los tipos de impactos

La metodología de evaluación del impacto del ciclo de vida y los tipos de impactos serán proporcionados por la herramienta ofimática SimaPro, en donde se realizarán los cálculos pertinentes para establecer los valores cuantitativos de los impactos que presenta dicho método de solución.

El ACV se realizará mediante el software SimaPro versión *Classroom 8.3.0.0 Multi user*, y la evaluación del impacto se realizará mediante el método de ReCiPe Endpoint (I) versión 1.13. La evaluación del impacto del ciclo de vida traduce las emisiones y las extracciones de recursos en un número limitado de puntajes de impacto ambiental mediante los llamados factores de caracterización.

Hay dos formas principales de derivar factores de caracterización, es decir, a nivel medio y final. ReCiPe calcula: 17 indicadores de punto medio (Figura 23) y 3 indicadores de punto final.

Impact category	Unit
Climate change Human Health	DALY
Ozone depletion	DALY
Human toxicity	DALY
Photochemical oxidant formation	DALY
Particulate matter formation	DALY
Ionising radiation	DALY
Climate change Ecosystems	species.yr
Terrestrial acidification	species.yr
Freshwater eutrophication	species.yr
Terrestrial ecotoxicity	species.yr
Freshwater ecotoxicity	species.yr
Marine ecotoxicity	species.yr
Agricultural land occupation	species.yr
Urban land occupation	species.yr
Natural land transformation	species.yr
Metal depletion	\$
Fossil depletion	\$

Figura 23. Captura de pantalla Software SimaPro, categorías de impacto de punto medio.

Los indicadores de punto medio se centran en problemas ambientales únicos, por ejemplo, el cambio climático o la acidificación. Los indicadores de punto final muestran el impacto ambiental en tres niveles de agregación más altos (Figura 24), siendo 1) el efecto en la salud humana, 2) los ecosistemas y 3) la escasez de recursos.

Damage category	Unit
Human Health	DALY
Ecosystems	species.yr
Resources	\$

Figura 24. Captura de pantalla Software SimaPro, categorías de impacto punto final.

La conversión de puntos medios a puntos finales simplifica la interpretación de los resultados de la evaluación del impacto del ciclo de vida. Sin embargo, con cada paso de agregación, la incertidumbre en los resultados aumenta. La Figura 25 proporciona una visión general de la estructura de ReCiPe.

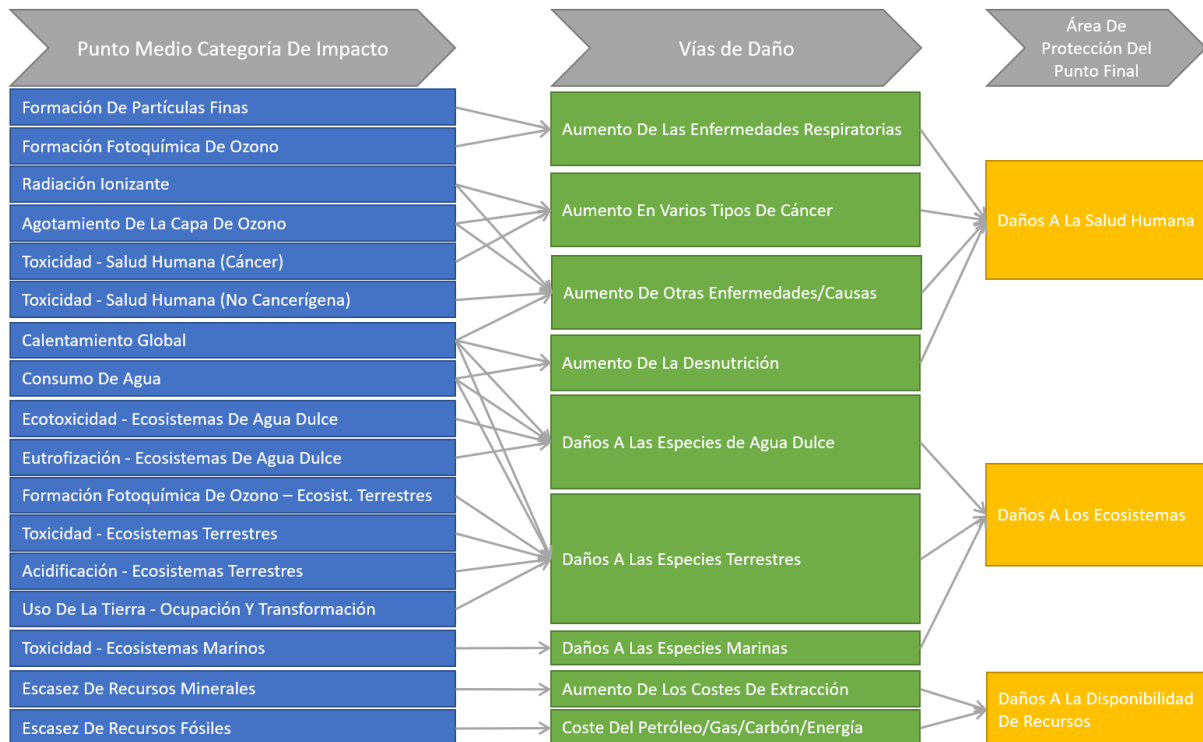


Figura 25. Estructura del método ReCiPe[12].

El método por defecto ReCiPe Endpoint es una versión jerárquica, con una normalización europea y una ponderación media. El "Europe ReCiPe I/I" se refiere a los valores de normalización de Europa con la ponderación correspondiente a la perspectiva individualista.

6.1.2.6 Requisitos relativos a los datos

La empresa proporciona los datos más recientes a la fecha de realización del ACV. Estos datos se encuentran almacenados y actualizados continuamente en los softwares de gestión de compras y fabricación. Para procesar los datos proporcionados por la empresa, se utiliza la base de datos de Ecoinvent del software SimaPro.

6.1.2.7 Requisitos de calidad de los datos

Los requisitos del presente ACV para la calidad de los datos tomados son:

1. Tiempo: Se realiza la toma de los datos en un mes, en el mismo año de realizar el ACV.
2. Geografía: Los datos son tomados en la ciudad de Valencia, España y algunos escenarios de la Unión Europea.
3. Tecnología: Para la medición de distancias se utilizará mediante la app de Google Earth, en la medición de la masa de los componentes de las sondas se utiliza una balanza digital.
4. Precisión: La balanza permite un +/- 0.01 de exactitud en las medidas. Con respecto a la medición de las distancias no hay una precisión exacta ya que Google no puede dar ninguna garantía de exactitud por que el algoritmo con el que calcula las distancias esta basado en la colocación de imágenes desde diferentes ángulos y alturas.
5. Integridad: El flujo de datos de entrada sobre el peso y distancias es 100% medido por el autor del trabajo.
6. Fuente de los datos: las fuentes son secundarias y primarias, ya que se tomaron en cuenta datos proporcionados por los fabricantes de los componentes, así como datos obtenidos por entrevistas o de documentación de la empresa tales como manuales de usuario.

6.1.2.8 Tipo y formato del informe

El desarrollo del presente trabajo será con fines académicos y por tal motivo el tipo y formato del informe del ACV es el índice del presente trabajo fin de máster.

6.2 Análisis del inventario del ciclo de vida.

El análisis de inventario de los ciclos de vida de las sondas WProbe y WProbe+, se evidencia y describe por completo para cada sonda. A continuación, se muestran los diagramas de flujo, explicación y capturas de pantalla del software SimaPro del inventario de datos recopilados para realizar el ACV en cada una de sus fases.

Para el cargue de la información del inventario del ciclo de vida en SimaPro, se crea un proyecto nuevo llamado TFM Sondas Gamma (ver Figura 26), en el usuario proporcionado por la universidad, ya que todo el análisis se realiza en los servidores en que el software está instalado, con la licencia proporcionada por la universidad.

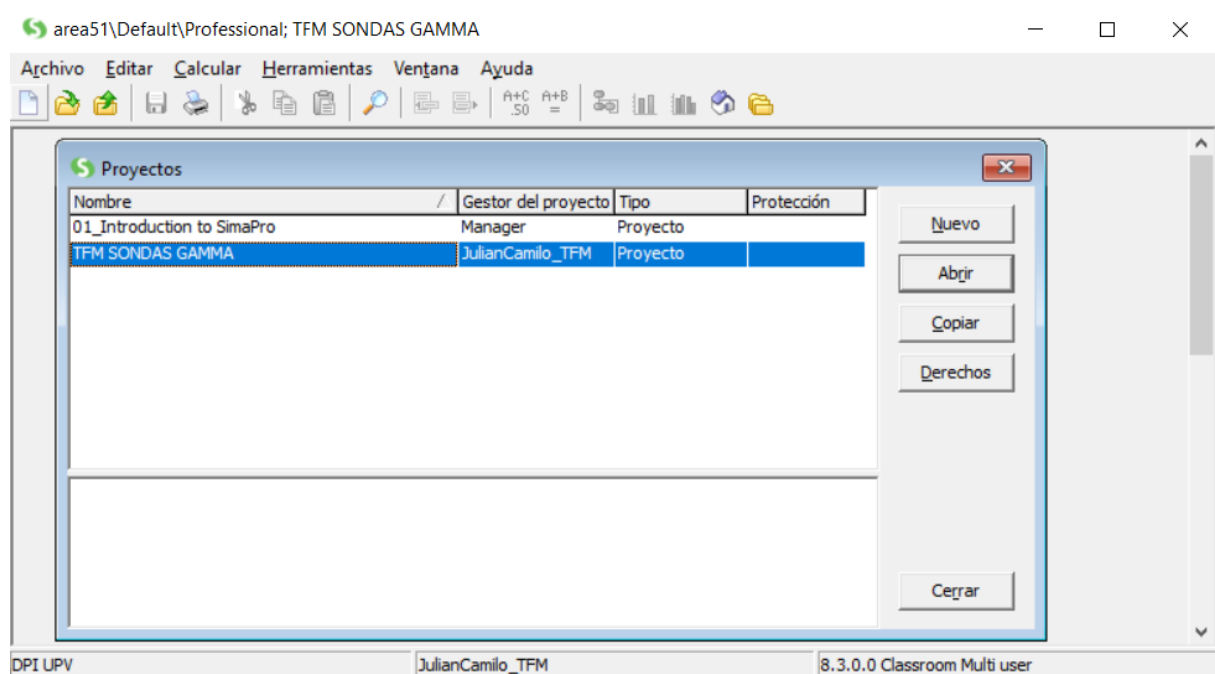


Figura 26. Captura de pantalla SimaPro, Creación del Proyecto TFM Sondas Gamma.

En el desarrollo del análisis, las etapas del ciclo de vida presentan los siguientes nombres, ya que facilitan la alimentación de datos en el software SimaPro. Para la etapa de Obtención de materias primas y fabricación se refiere a la WProbe ASM o fabricación de la sonda. La etapa de distribución y transporte es *Transport*, en la de uso y mantenimiento se refiere a ciclo de vida de batería WP, y el fin de vida es *Waste*. En la sonda WProbe+ los nombres de las etapas son iguales, pero se asignó el símbolo "+" para aclarar que pertenece al ciclo de vida de esta sonda.

6.2.1 Sonda WProbe

6.2.1.1 Obtención de materias primas y fabricación

En la Figura 27, se evidencia el diagrama de flujo de procesos global de las materias primas y fabricación de la sonda WProbe, el cual tiene como entradas, los cuatro grupos de componentes de piezas y el empaque, y como salida el montaje o ensamblado de la sonda WProbe empacada para ser distribuida.

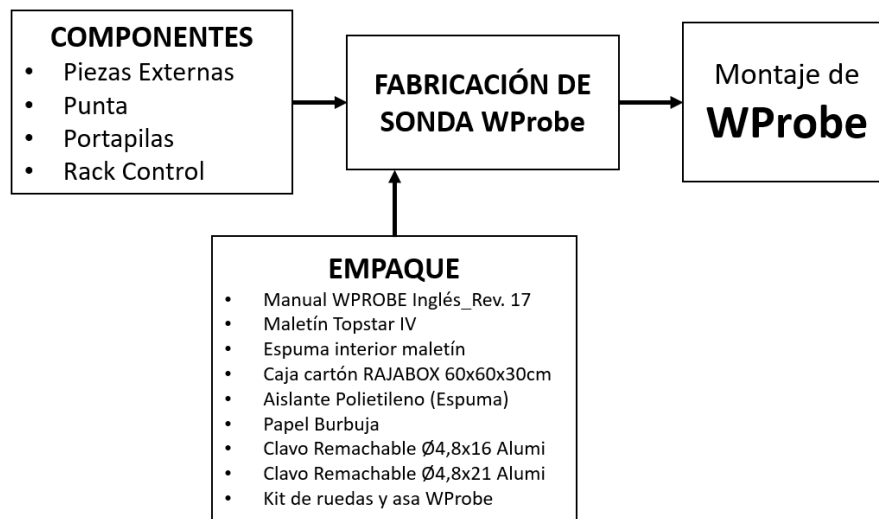


Figura 27. Proceso global de Fabricación de la Sonda WProbe.

Para cada proceso unitario presente en el análisis de inventario, se representan los factores de entrada como; materias primas, gasto de energía en los procesos de transformación y transporte de la pieza a Oncovision, también se presentan pérdidas en el proceso de fabricación y por último la salida de las piezas fabricadas.

Las pérdidas se presentan, por la selección del tipo de proceso de fabricación con el que se realiza la pieza. Para los procesos de mecanizados y trabajos sobre metal no se consideran pérdidas, y para los procesos de moldeo por inyección y extrusión si se consideran y son calculadas en SimaPro.

Los procesos unitarios, se presentan por diagramas de flujo de grupos de montaje según la Tabla 1, para la sonda WProbe los grupos son: piezas externas, punta, portapilas, rack control y empaque.

1. Piezas Externas; el grupo de piezas externas (ver Figura 28), está compuesto por 7 piezas que hacen contacto con el paciente o médico cuando está en uso la sonda.

Los datos de entrada como los pesos de las piezas, fueron medidos con una balanza en la locación de la empresa, los transportes fueron estimados teniendo en cuenta la ubicación de proveedores y la de la empresa fabricante, la selección de los materiales y procesos se realizó teniendo en cuenta los *datasheet* de las piezas y fueron alimentados a SimaPro utilizando la base de datos de Ecoinvent (ver Figura 29). La fabricación de estas piezas presenta unas pérdidas que son consideradas y calculadas a través de SimaPro, teniendo en cuenta el proceso seleccionado.

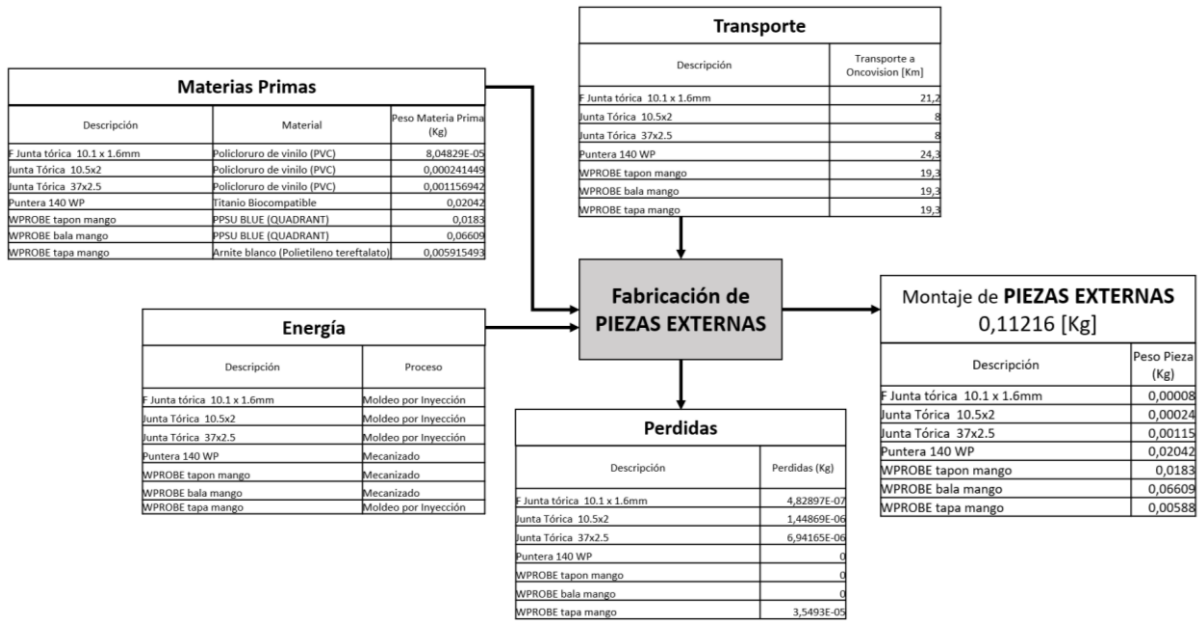


Figura 28. Proceso unitario del montaje de Piezas Externas en WProbe.

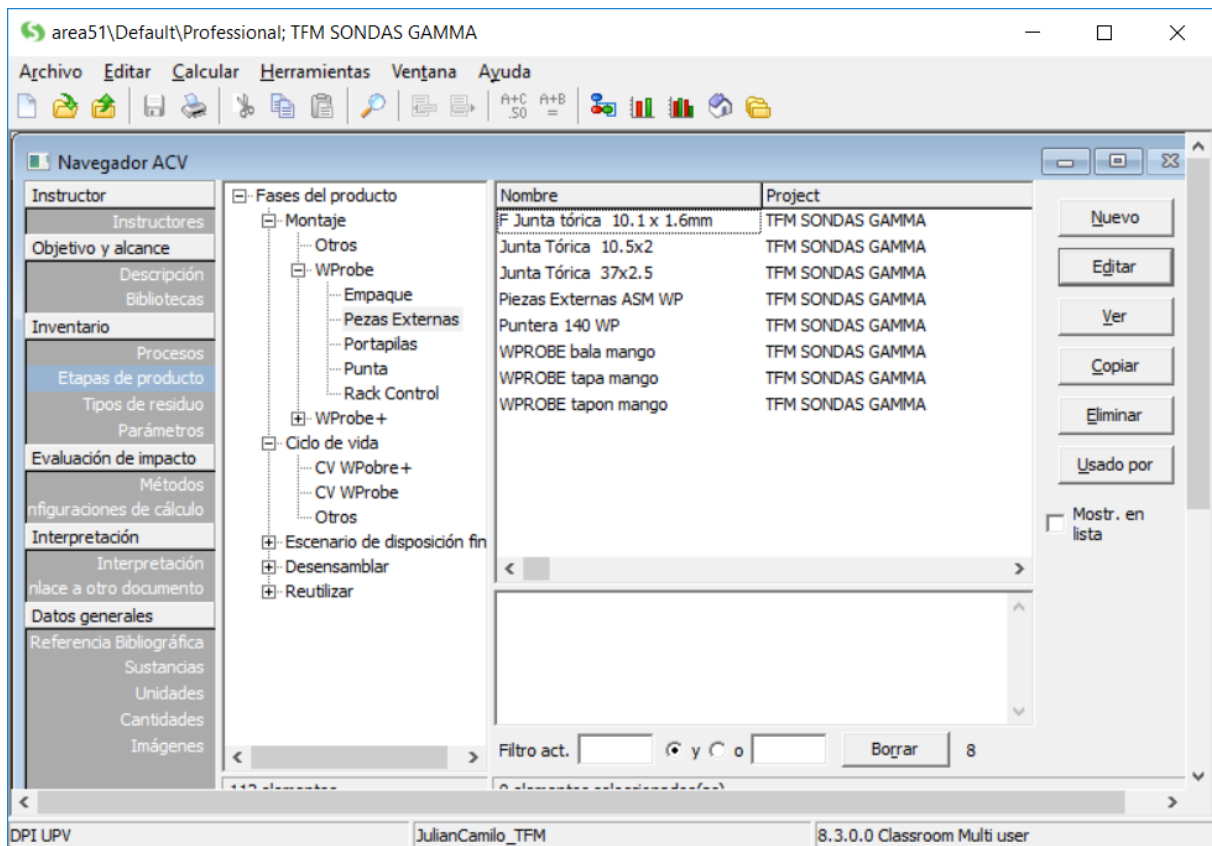


Figura 29. Captura de pantalla SimaPro, montaje de Piezas externas WProbe.

2. Punta; se compone de 17 piezas (ver Figura 30), estas piezas componen el interior de la puntera de la sonda, contiene el sensor, cristales y colimadores de tungsteno los cuales permiten realizar la lectura en la dirección deseada por el médico nuclear y que no se filtre radiación en otra

dirección. Los datos de entrada fueron recopilados igual que el grupo de piezas externas, excepto la entrada del material de tungsteno.

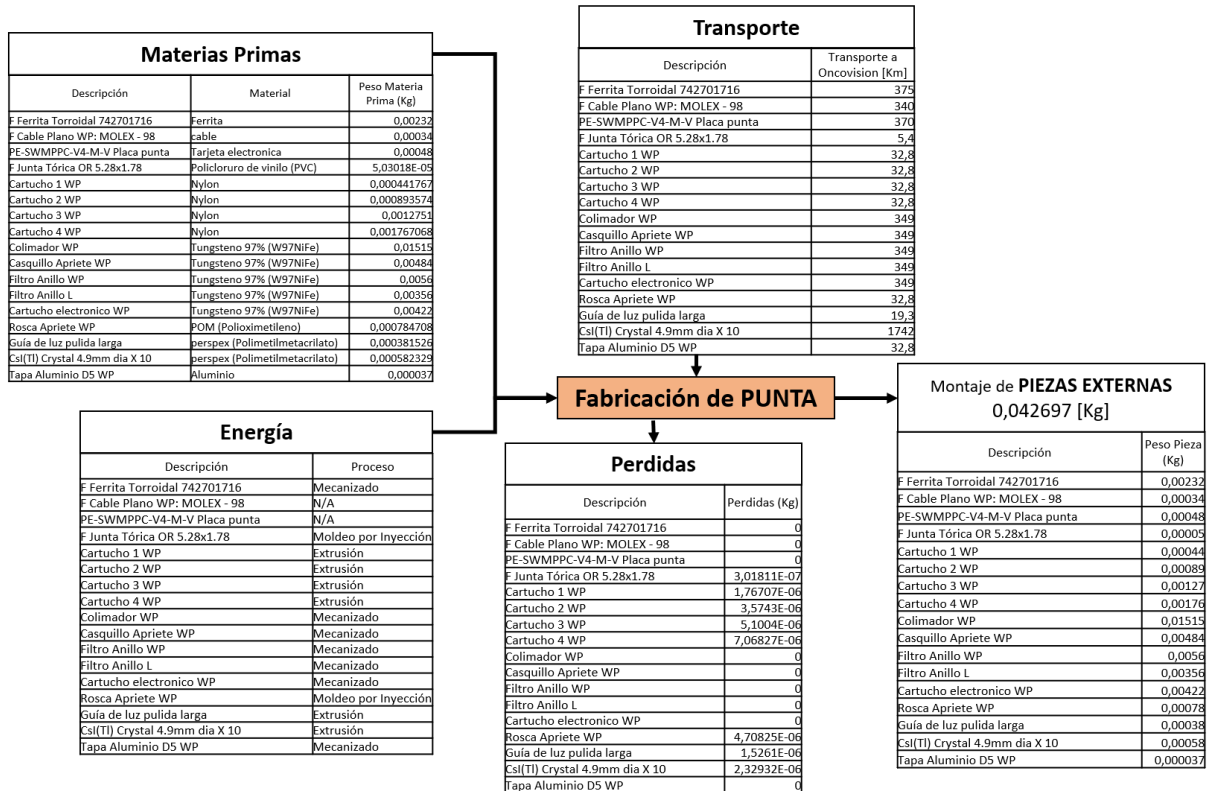


Figura 30. Proceso unitario del montaje de Punta en WProbe.

Para la entrada de material del tungsteno, la base de datos de Ecoinvent no lo tiene dentro de su listado de materiales, por tal motivo el proceso que se realizó fue el siguiente:

- En el artículo titulado “Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis” de Philip Nuss, en la información soporte mencionan los datos de inventario del ciclo de vida para la producción primaria del tungsteno en función de la base de datos de Ecoinvent.

En el artículo han reunido una amplia información sobre las cargas ambientales de 63 metales en sus principales formas de uso, y también estiman por etapa del ciclo de vida del metal el uso acumulativo de energía, el potencial de calentamiento global, las implicaciones para la salud humana y el daño al ecosistema, en cuenta este análisis realizado, se utilizan los datos proporcionados en este artículo para la creación del material en la base de datos del proyecto en el software SimaPro.

En la Tabla 4, se muestra el inventario del ciclo de vida que muestra los nombres de los procesos seleccionados en la base de datos de Ecoinvent para una tonelada métrica de producción de tungsteno.

Inputs	Amount	Unit	Distribution	StDv95%
Biomass	35.7	kg	Lognormal	1.27
Occupation, arable	43.3	m2a	Lognormal	1.6
Occupation, industrial area	2344	m2a	Lognormal	1.6
Transformation, from unknown	18.3	m2	Lognormal	2.08
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	10165	MJ	Lognormal	1.27
Energy, from coal	32872	MJ	Lognormal	1.27
Energy, from uranium	9374	MJ	Lognormal	1.27
Energy, unspecified	0.503	MJ	Lognormal	1.27
Water, cooling, drinking	148327	kg	Lognormal	1.27

Tungsten ore, in ground	341	ton	Lognormal	1.27
Metals n.e.c., extracted for use	0.17	ton	Lognormal	1.27
Metals, n.e.c., related unused extraction	1.26	ton	Lognormal	1.27
Outputs				
Tungsten, metallic	1	ton	-	-
Emissions to air				
Trichloroethane	2.7E-09	kg	Lognormal	2.3
Ethane, 1,2-dichloro-	0.000222	kg	Lognormal	2.3
Arsenic	0.907	kg	Lognormal	5.09
Benzo(a)pyrene	0.0148	kg	Lognormal	3.08
Benzene	0.0148	kg	Lognormal	2.3
Lead	2.26	kg	Lognormal	5.09
Cadmium	0.317	kg	Lognormal	5.09
Chlorinated fluorocarbons, soft	0.0000696	kg	Lognormal	2.3
Methane, biogenic	0.0395	kg	Lognormal	1.6
Methane	4.38	kg	Lognormal	1.6
Chromium	0.0924	kg	Lognormal	5.09
Carbon monoxide	13.8	kg	Lognormal	5.09
Carbon dioxide, fossil	2554	kg	Lognormal	1.27
Carbon dioxide, biogenic	44.4	kg	Lognormal	1.27
Methane, dichloro-, HCC-30	9.51E-08	kg	Lognormal	1.6
Dioxins (unspec.)	2.78E-09	kg	Lognormal	3.08
Ethene	0.00886	kg	Lognormal	2.3
Particulates, < 10 um	51.8	kg	Lognormal	3.08
Formaldehyde	0.00558	kg	Lognormal	2.3
Ozone	0	kg	Lognormal	2.3
Hydrogen sulfide	0.00804	kg	Lognormal	2.3
Hydrogen chloride	0.15	kg	Lognormal	2.3
Phosphate	0	kg	Lognormal	2.3
Benzene, hexachloro-	0.000000748	kg	Lognormal	3.08
Hydrogen fluoride	0.0244	kg	Lognormal	2.3
Copper	2.5	kg	Lognormal	2.3
Dinitrogen monoxide	0.586	kg	Lognormal	2.3
Ammonia	8.27	kg	Lognormal	1.6
Nickel	1.78	kg	Lognormal	2.3
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	18.5	kg	Lognormal	1.6
Nitrogen oxides	50.5	kg	Lognormal	2.3
Polychlorinated biphenyls	0.00000112	kg	Lognormal	3.08
Anisole, pentachloro-	0.00000807	kg	Lognormal	3.08
Polycyclic organic matter, unspecified	0.00102	kg	Lognormal	3.08
Mercury	0.002	kg	Lognormal	5.09
Sulfur hexafluoride	0.000108	kg	Lognormal	2.3
Sulfur dioxide	424	kg	Lognormal	2.3
Zinc	0.699	kg	Lognormal	2.3
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	0.217	kg	Lognormal	1.6
Emissions to water				
Arsenic	0.00235	kg	Lognormal	5.09
Benzo(a)pyrene	0	kg	Lognormal	3.08
Benzene	0.0137	kg	Lognormal	3.08
Lead	0.00218	kg	Lognormal	5.09
BOD5, Biological Oxygen Demand	7.29	kg	Lognormal	1.6
Cadmium	0.000215	kg	Lognormal	5.09
Chloride	13.5	kg	Lognormal	1.6
Chromium	0.0215	kg	Lognormal	5.09
COD, Chemical Oxygen Demand	12.9	kg	Lognormal	1.6
Cyanide	0.438	kg	Lognormal	1.6
Fluoride	0.13	kg	Lognormal	1.6
CFCs, unspecified	0.000148	kg	Lognormal	3.08
Butadiene, hexachloro-	0	kg	Lognormal	3.08
Copper	0.0432	kg	Lognormal	1.6
Ammonia	0.0361	kg	Lognormal	1.6
Nickel	0.856	kg	Lognormal	1.6
Nitrate	0.189	kg	Lognormal	1.6
Tin	0.0000139	kg	Lognormal	1.6

TOC, Total Organic Carbon	4.62	kg	Lognormal	1.6
Phenol	0.00134	kg	Lognormal	3.08
Polychlorinated biphenyl, PCB-1254	0.0000979	kg	Lognormal	3.08
Mercury	0.0000373	kg	Lognormal	5.09
Sulfate	272	kg	Lognormal	1.6
Phosphate	0.0565	kg	Lognormal	1.6
Nitrogen	2.85	kg	Lognormal	1.6
Zinc	0.0162	kg	Lognormal	1.6

Tabla 4. Inventario del ciclo de vida según la base de datos de Ecoinvent [16].

- A continuación, se crea un nuevo material en el apartado de metales, se le asigna el nombre de Tungsteno y se ingresan los datos de la Tabla 4. Cada uno de los datos de entrada, salidas, emisiones al aire y agua se encuentra en SimaPro, lo que se realiza es la búsqueda de los procesos seleccionados en la base de datos y posteriormente se le asignan los valores de cantidad, unidad, distribución y el factor del tipo de distribución según la tabla proporcionada, y así completar el inventario del ciclo de vida para un tonelada métrica de producción de tungsteno (ver Figura 31).

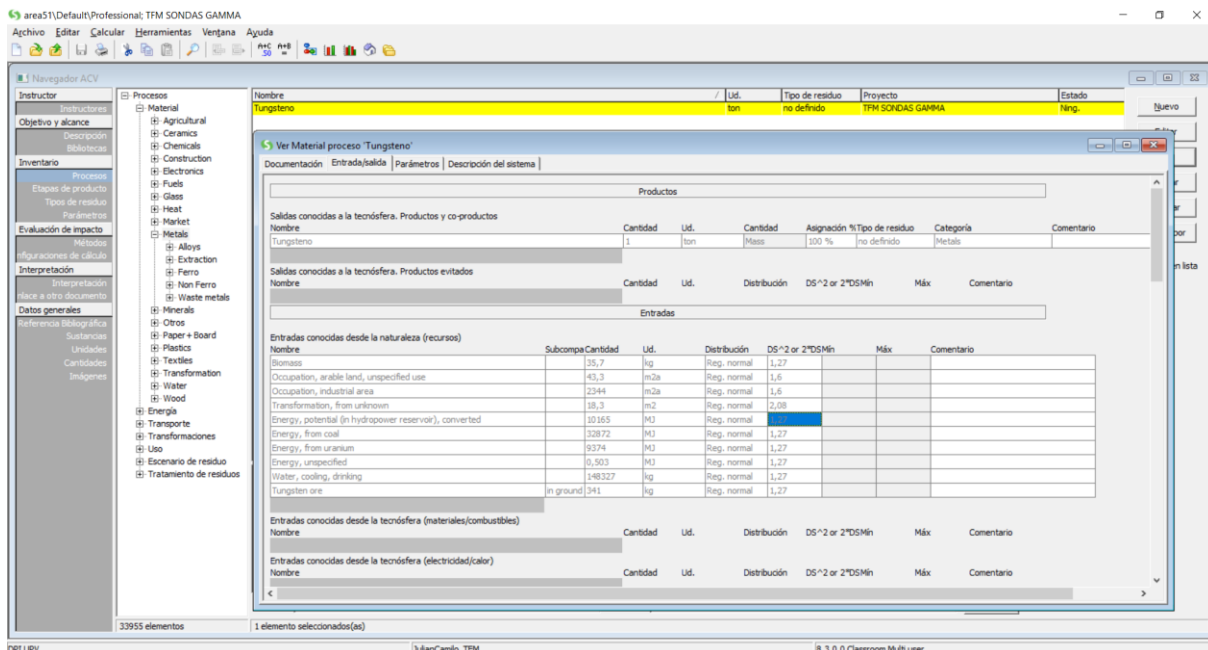


Figura 31. Captura de pantalla SimaPro, Material Tungsteno.

- Finalmente, en el montaje creado para la fabricación de las piezas de punta, se le asigna el material creado a cada pieza que corresponda.

3. Portapilas; el grupo se compone de 8 piezas (ver Figura 32), tienen como funcionalidad proporcionar la tensión de corriente necesaria para que la sonda funcione. Los datos de entrada fueron recopilados igual que el grupo de piezas externas.

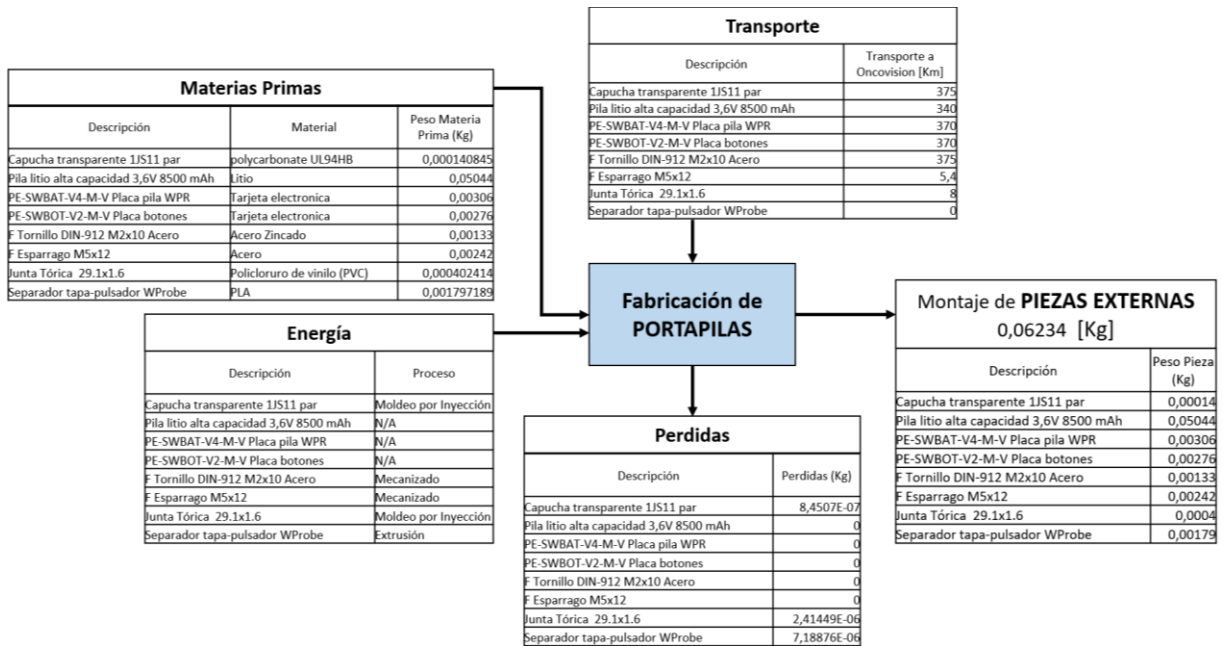


Figura 32. Proceso unitario del montaje de Portapilas en WProbe.

En la Figura 33, se evidencia el montaje del grupo de piezas portapilas, y un ejemplo del cargue de la información relacionada en el proceso unitario para la pieza Capucha Transparente.

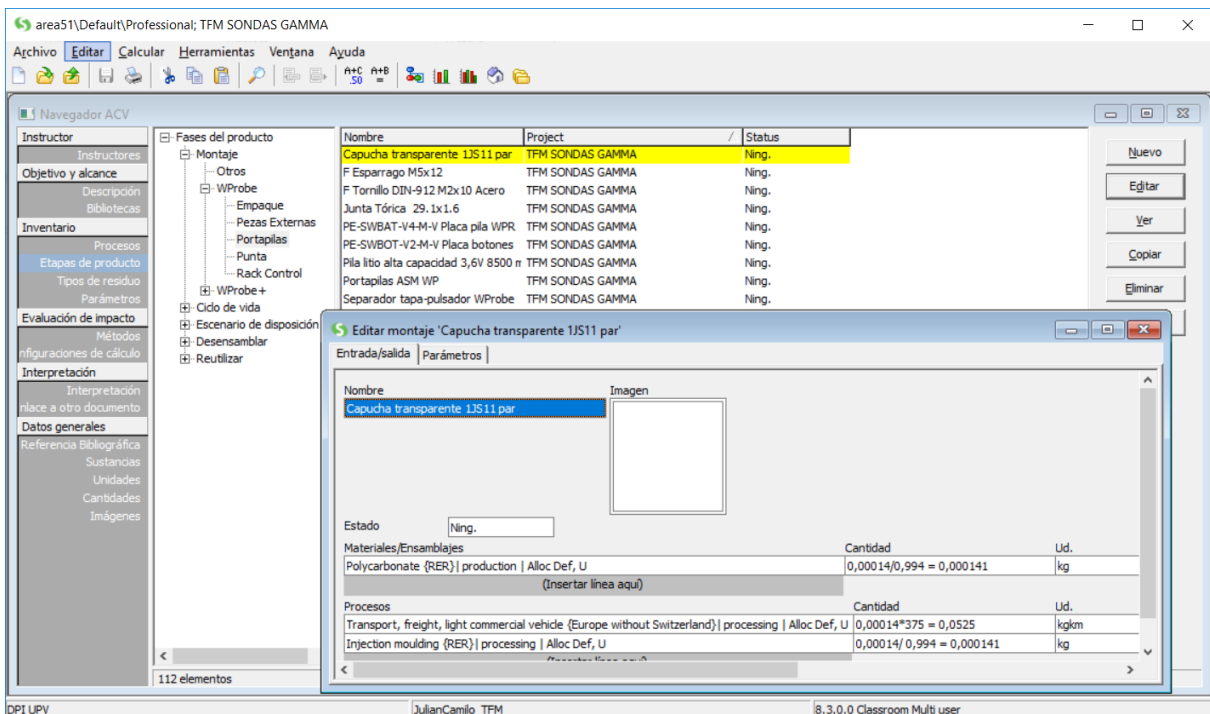


Figura 33. Captura de pantalla SimaPro, del montaje de Portapilas en WProbe.

4. Rack Control; se compone de 15 piezas, las cuales permiten realizarla captura de la información y enviarla por bluetooth hacia la Tablet donde se procesa con la ayuda del software, cabe considerar que según los límites del sistema establecidos en el apartado 6.1.2.4, la Tablet no está dentro del ACV. En la Figura 34, se puede observar el proceso unitario de las piezas que componen el

montaje del rack de control de la sonda WProbe. Los datos de entrada fueron recopilados igual que el grupo de piezas externas.

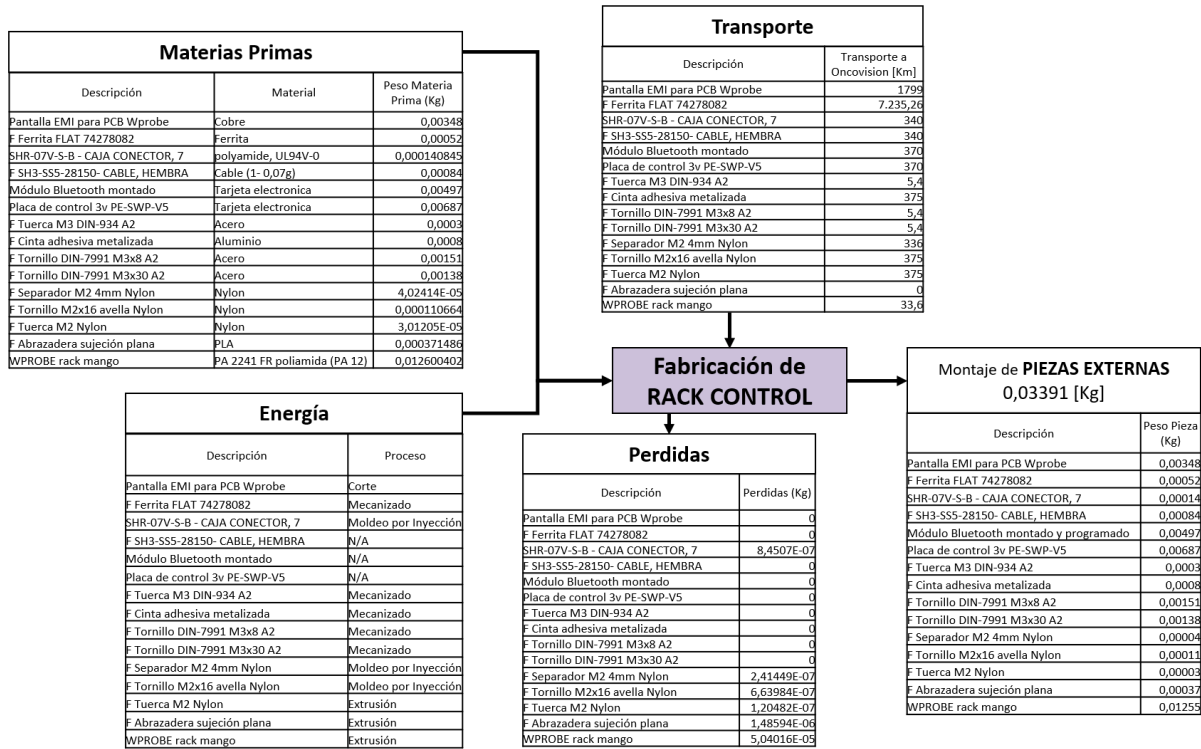


Figura 34. Proceso unitario del montaje de Rack Control en WProbe.

5. Empaque; para realizar el embalaje de la sonda fabricada se necesitan 9 piezas que componen el grupo de montaje. En la Figura 35, se puede observar el proceso unitario para las piezas que componen el montaje de empaque. En la Figura 7, se puede observar cómo queda la sonda lista en el maletín para ser transportada y almacenada por parte del cliente. Los datos de entrada fueron recopilados igual que el grupo de piezas externas.

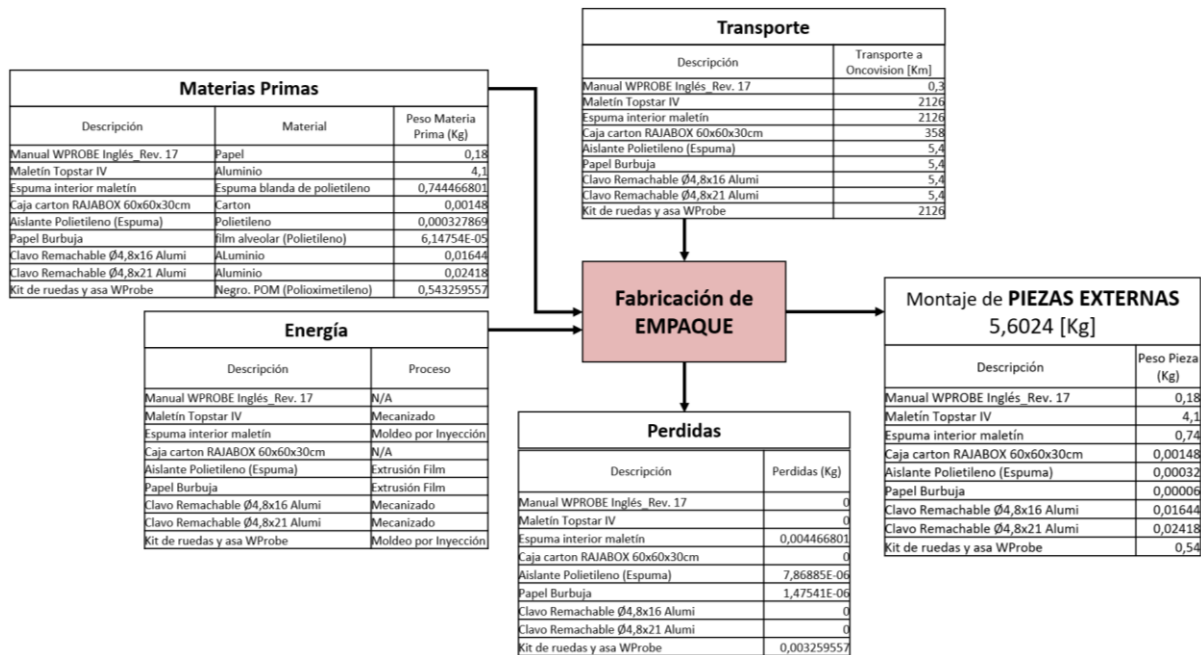


Figura 35. Proceso unitario del montaje de Empaque en WProbe.

6.2.1.2 Distribución y Transporte

Para el escenario de la fase de distribución y transporte, se plantea una suma ponderada de las distancias recorridas por cada una de las sondas vendidas por Oncovision. El número de sondas vendidas por país, es proporcionado por el área de ventas de la empresa y se tiene un total de 101 unidades de Sondas WProbe vendidas hasta el 21 de enero del 2019. El cálculo de las distancias estimado mediante el aplicativo de Google Earth, se realiza desde la salida de la empresa hasta el punto de entrega al cliente en cada país, ver Tabla 5.

Ítem	Países	Nº. Ventas [Uds.]	Distancia Promedio [Km]	Nº. Ventas*Distancia Promedio [Uds. /Km]
1	México	3	9338,12	28014,36
2	España	33	327,85	10819,05
3	UK	1	1689,00	1689
4	Argentina	9	6317,42	56856,78
5	Japón	1	10716,98	10716,98
6	Irán	4	4924,33	19697,32
7	EE.UU.	3	5775,81	17327,43
8	China	1	9866,36	9866,36
9	Rusia	2	3310,92	6621,84
10	Egipto	2	3054,12	6108,24
11	Italia	10	1542,00	15420
12	Libia	1	2105,35	2105,35
13	Perú	2	9742,65	19485,3
14	Cuba	1	7750,62	7750,62
15	Portugal	3	813,00	2439
16	Ecuador	6	9006,60	54039,6
17	Turquía	5	4017,00	20085
18	Polonia	11	2559,00	28149
19	Colombia	3	8283,79	24851,37
Total=		101		342042,6

Tabla 5. Cálculo de distancias de distribución de sondas WProbe a clientes.

Para el cálculo de la distancia recorrida por la sonda WProbe, se obtiene una distancia recorrida ponderada de la sonda, esto se realiza teniendo en cuenta la suma total de las distancias recorridas por todas las sondas vendidas entre el total de unidades de sonda vendidas, por lo tanto, el valor de la distancia a recorrer por una sonda WProbe es 3386,56 [Km] para el escenario de uso creado para el presente ACV.

En la Figura 36, se puede observar el proceso unitario para el escenario de la fase distribución y transporte de la sonda WProbe, donde se tiene los siguientes datos de entrada; el montaje de la sonda WProbe y la distancia a recorrer por la sonda, y como salida; se tiene la sonda WProbe en las instalaciones del cliente.

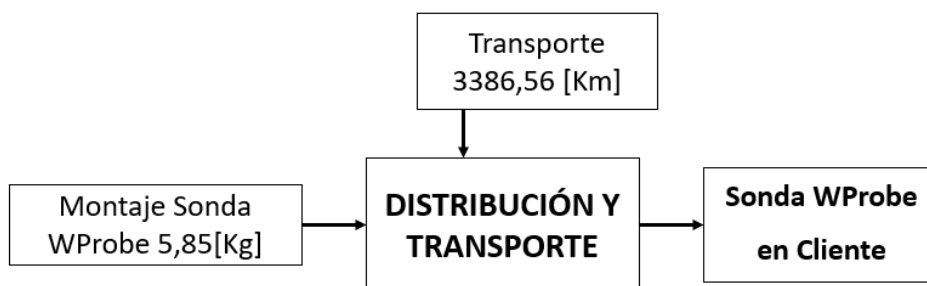


Figura 36. Proceso global de distribución y transporte de la Sonda WProbe.

6.2.1.3 Uso y Mantenimiento

En el manual de usuario del equipo se estipula un tiempo de uso de la batería continuo de 200[h] adquiriendo información y 380[h] en *stanby* o reposo. Cuando se agota la batería la sonda WProbe debe de retornar a la empresa Oncovision para ser cambiada y se realiza proceso de calibración de la sonda y retorna al cliente nuevamente.

El escenario de uso de la sonda WProbe se describe a continuación:

1. El tiempo que está disponible la sonda en las salas de cirugía cada vez que se va a realizar un procedimiento de detección de ganglio centinela es de 4,25[h] para un ciclo mixto de uso, es decir 0,25[h] la sonda presenta uso continuo (adquiriendo) y 4[h] la sonda permanece en reposo (*stanby*). Este dato es obtenido por consultas a diferentes clientes y es facilitado por la empresa Oncovision para el escenario de uso y mantenimiento.

2. Conociendo que la unidad funcional para el ACV es: el uso durante 2125 horas (500 ciclos, cada ciclo de 4,25 horas) de la sonda gamma para la detección del ganglio centinela en centros médicos ubicados en diferentes zonas geográficas.

El porcentaje de uso del ciclo mixto es la división del tiempo para 1 ciclo de cada modo de uso entre el tiempo total del ciclo mixto. El tiempo de uso real de la sonda es; el porcentaje de uso del ciclo mixto por la duración de la batería para cada modo de uso. Por último, el tiempo total de uso real de la sonda por batería es la suma del tiempo de uso real de cada modo de uso. En la Tabla 6, se muestra que el tiempo de total de uso real de la sonda por batería es 341,18[h] teniendo en cuenta el tiempo de uso para un ciclo.

Modo de Uso	Duración de la Batería[h]	Tiempo para 1 Ciclo [h]	% Uso del Ciclo Mixto	Tiempo de Uso Real de la Sonda [h]
Ciclo Mixto	-	4,25	-	-
Adquiriendo	200	0,25	5,88%	11,765
<i>Stanby</i>	350	4	94,12%	329,412
Tiempo total de uso real de la sonda por Batería				341,18

Tabla 6. Tiempo de uso real de la sonda para una batería de la sonda WProbe.

3. La cantidad de ciclos para 1 batería es la división entre el tiempo total de uso real de la sonda por Batería entre el tiempo para 1 ciclo.

$$\text{Cantidad de ciclos para 1 batería} = 341,18 / 4,25$$

$$\text{Cantidad de ciclos para 1 batería} = 80,3 \approx 80$$

4. Para conocer la cantidad de Baterías a utilizar según la unidad funcional del ACV (500 ciclos de uso - 2125 [h]) se divide la cantidad de ciclos entre la cantidad de ciclos por batería.

$$\text{Cantidad de Baterías para los 500 ciclos de uso} = 500 / 80$$

$$\text{Cantidad de Baterías para los 500 ciclos de uso} = 6,25 \approx 7$$

Finalmente, en la vida útil de la sonda que son 2125 [h], la sonda se someterá a 6 cambios de batería, 9ya que inicialmente la sonda trae la primera batería. Esto supone un transporte desde el cliente hasta el punto de fábrica y viceversa para que el cliente pueda utilizar nuevamente la sonda, es decir; en toda la vida útil de la sonda el equipo tiene que viajar 6 veces al punto de fabrica para que sea sometida al cambio de batería y sea calibrada.

En la Figura 37, se muestra el proceso unitario del uso y mantenimiento de la sonda. Tiene como entradas, la sonda WProbe en cliente, la batería nueva que se cambia cada 80 ciclos de uso, el transporte de la sonda de punto de fabrica a cliente y viceversa. Como salida tiene la batería usada cada 80 ciclos, y la retirada de la sonda WProbe (fin de vida).

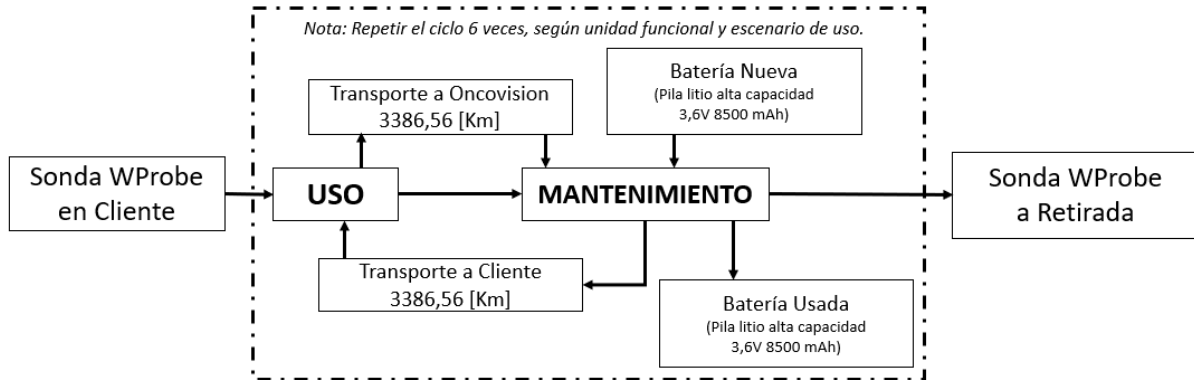


Figura 37. Proceso unitario de Uso y Mantenimiento de la Sonda WProbe.

6.2.1.4 Fin de vida

Al final de la vida útil del equipo, el cliente debe devolver el equipo a Oncovision, quién realizará la gestión de los residuos peligrosos y no peligrosos para el medio ambiente, con el objetivo de dar cumplimiento a lo indicado en el artículo 10 de la Directiva 2012/19/CE del 8 de Diciembre de 2003, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y al control de sus residuos y posteriores modificaciones, y como estos aparato han sido fabricado después del 13 de Agosto de 2005 y está sujeto a la recogida selectiva de aparatos eléctricos y electrónicos.

Para el escenario de fin de vida de la sonda WProbe, se realiza un análisis del porcentaje de reciclaje, incineración y vertedero de electrodomésticos en España con la ayuda de fuentes estadísticas.

La base de datos tenida en cuenta pertenece a la Oficina Estadística de la Unión Europea, Eurostat, la cual se encarga de publicar estadísticas e indicadores de alta calidad a escala Europa que permitan hacer comparaciones entre países y regiones. En la Figura 38, se muestra la base datos seleccionada; "Treatment of waste by waste category, hazardousness and waste management operations", la cual nos indica un escenario de gestión de fin de vida que se presenta en España para aparatos similares.

WASTE	Waste treatment	Disposal - landfill and other (D1-D)	Disposal - incineration (D10)	Recovery - energy recovery (R1)	Recovery - recycling and backfill
Total waste	106,715,249	57,250,547	13,491	3,829,151	45,622,1
Metal wastes, ferrous	8,259,104	2,898	0	0	8,256,.
Metal wastes, non-ferrous	571,962	1,756	0	0	570,.
Metal wastes, mixed ferrous a	263,184	93	0	0	263,.
Glass wastes	1,019,217	27,331	1	0	991,.
Paper and cardboard wastes	4,078,575	7,057	0	347	4,071,.
Rubber wastes	254,756	1,662	0	128,185	124,.
Plastic wastes	690,602	81,448	0	14,331	594,.
Wood wastes	1,069,621	17,646	0	74,429	977,.

Figura 38. Captura de pantalla, Base de datos de Eurostat para el fin de vida.

Esta base de datos está basada en el año 2016, y nos muestra el total de residuos generados en España, de ese total el 42.57% se recicla, y el 57,25% se elimina, de los residuos eliminados el 94% es llevado a vertedero y el 6% se incinera. Estos porcentajes se pueden evidenciar en la Tabla 7, también se aprecian los porcentajes de los residuos separados por materiales o tipo de residuos.

WASTE/WST_OPER	Waste treatment	Resta de residuos - reciclaje	Disposal - landfill and other (D1-D7, D12)	% Vertedero	Disposal - incineration (D10)	Recovery - energy recovery (R1)	% Incineración	Recovery - recycling and backfilling (R2-ER11)	% Reciclaje
Total waste	106.715.249	61.093.189	57.250.547	94%	13.491	3.829.151	6%	45.622.060	42,751%
Metal wastes, ferrous	8.259.104	2.898	2.898	100%	0	0	0%	8.256.206	99,965%
Metal wastes, non-ferrous	571.962	1.756	1.756	100%	0	0	0%	570.206	99,693%
Metal wastes, mixed ferrous and non-ferrous	263.184	93	93	100%	0	0	0%	263.091	99,965%
Glass wastes	1.019.217	27.332	27.331	100%	1	0	0%	991.885	97,318%
Paper and cardboard wastes	4.078.575	7.404	7.057	95%	0	347	0%	4.071.171	99,818%
Rubber wastes	254.756	129.847	1.662	1%	0	128.185	50%	124.909	49,031%
Plastic wastes	690.602	95.779	81.448	85%	0	14.331	2%	594.823	86,131%
Wood wastes	1.069.621	92.075	17.646	19%	0	74.429	7%	977.546	91,392%

Tabla 7. Escenario de porcentaje de residuos, reciclaje, vertedero e incineración en España para el año 2016.

En la Figura 39, se puede observar el proceso unitario del fin de vida de la sonda WProbe, el cual tiene como entrada la sonda a retirada, y como salidas tiene el porcentaje de material de la sonda que se recicla y se elimina.

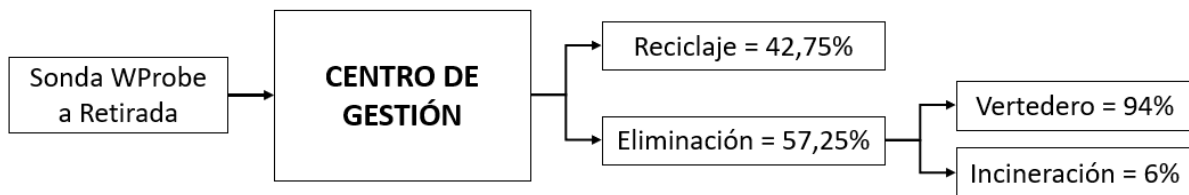


Figura 39. Proceso unitario de Fin de Vida de la Sonda WProbe.

Para el ACV, se debe de crear un escenario de residuos en el software SimaPro (ver Figura 40), el escenario es Waste (waste escenario) SpainTFM SONDAS, donde se seleccionan los tipos de residuos a reciclar, y el tratamiento de eliminación que puede tener la sonda según los cálculos realizados.

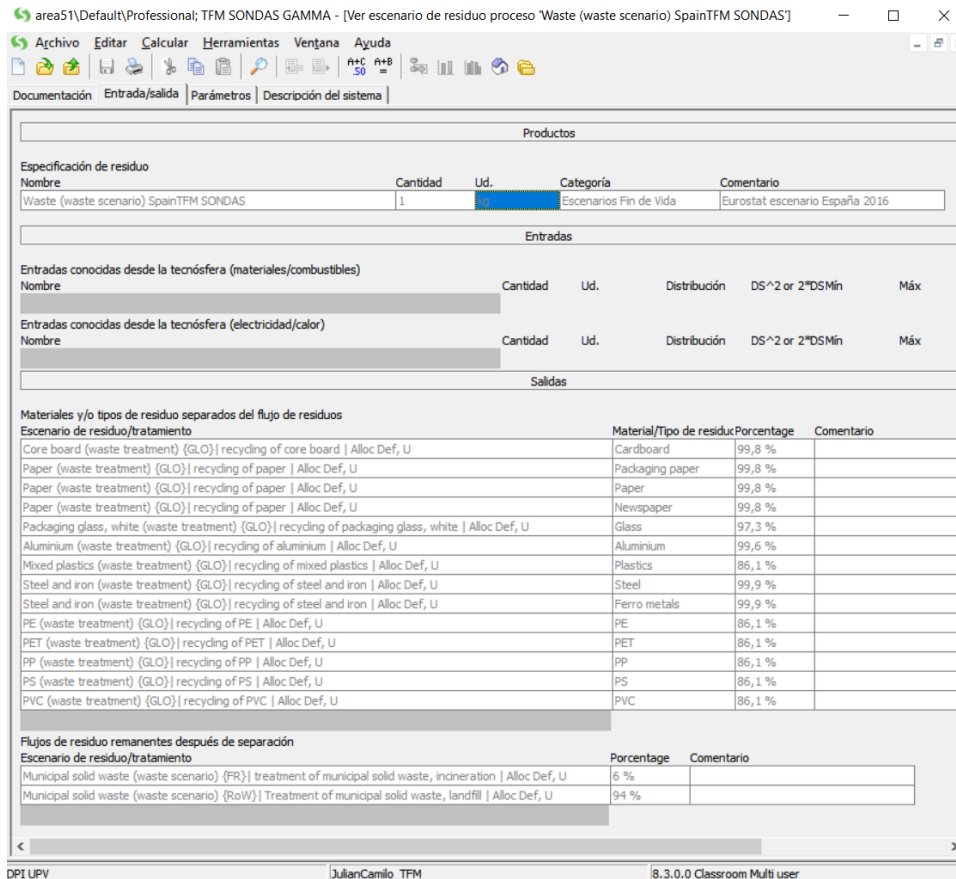


Figura 40. Captura de pantalla SimaPro, escenario fin de vida de las sondas gamma.

6.2.2 Sonda WProbe+

6.2.2.1 Obtención de materias primas y fabricación

En la Figura 41, se evidencia el diagrama de flujo de procesos global de las materias primas y fabricación de la sonda WProbe+, el cual tiene como entradas, los cuatro grupos de componentes de piezas y el empaque, y como salida el montaje o ensamblado de la sonda WProbe+ empacada para ser distribuida.

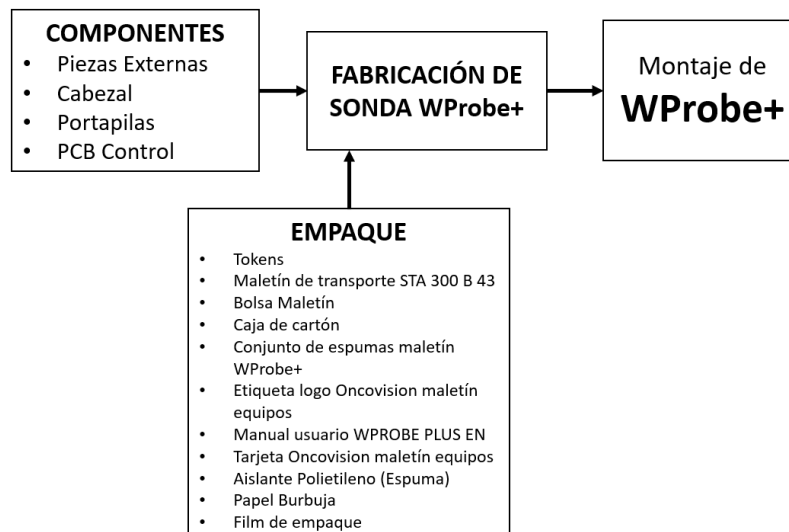


Figura 41. Proceso global de Fabricación de la Sonda WProbe+.

Al igual que en el inventario de la sonda WProbe, para cada proceso unitario de la sonda WProbe+, se representan los factores de entrada como; materias primas, gasto de energía en los procesos de transformación y transporte de la pieza a Oncovision, también se presentan pérdidas en el proceso de fabricación y por último la salida de las piezas fabricadas.

Los procesos unitarios, se presentan por diagramas de flujo de grupos de montaje según la Tabla 1, para la sonda WProbe+ los grupos son: piezas externas, cabezal, portapilas, pcb control y empaque.

1. Piezas Externas; el grupo de piezas externas ver Figura 42, está compuesto por 3 piezas que hacen contacto con el paciente o médico cuando está en uso la sonda.

Los datos de entrada como los pesos de las piezas, fueron medidos con una balanza en la locación de la empresa, los transportes fueron estimados teniendo en cuenta la ubicación de proveedores y la de la empresa fabricante, la selección de los materiales y procesos se realizó teniendo en cuenta los *datasheet* de las piezas y fueron alimentados a SimaPro utilizando la base de datos de Ecoinvent, ver Figura 43.

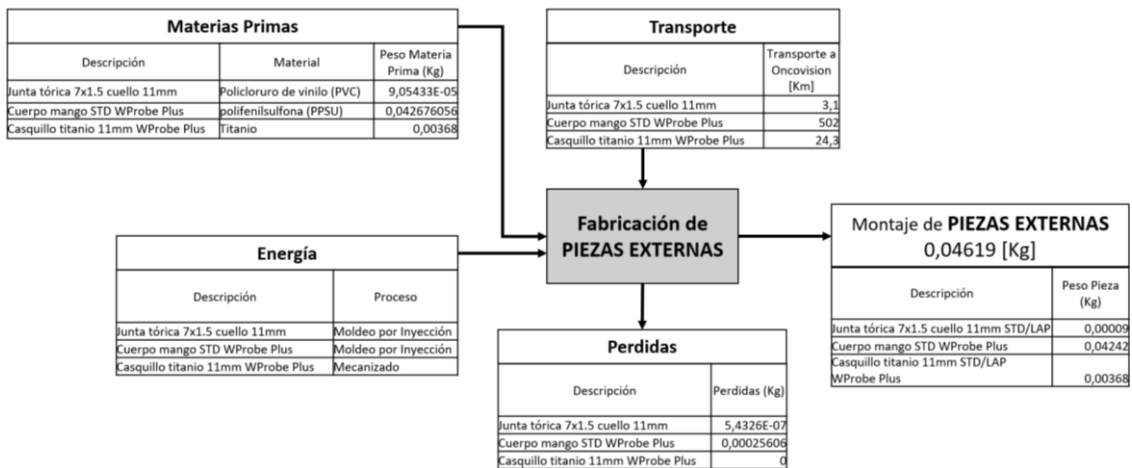


Figura 42. Proceso unitario del montaje de Piezas Externas en WProbe.

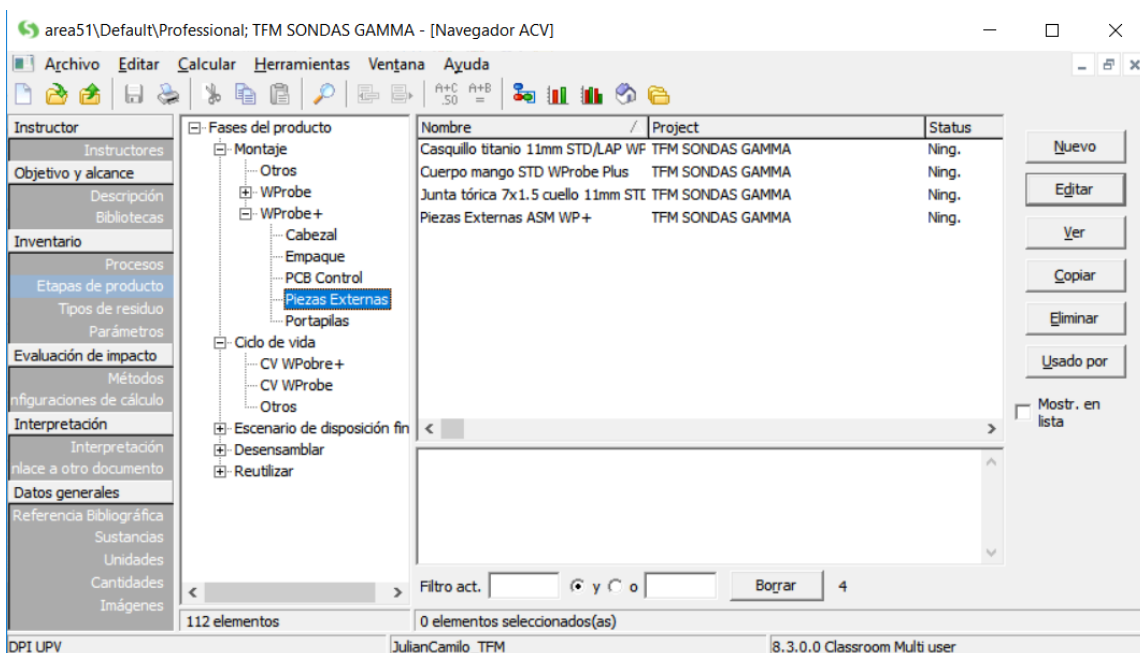


Figura 43. Captura de pantalla SimaPro, montaje de Piezas externas en WProbe+.

2. Cabezal; se compone de 6 piezas ver Figura 44, estas piezas componen el interior de la puntera de la sonda, contiene el sensor, el cristal y los blindajes de tungsteno. Los datos de entrada fueron recopilados igual que el grupo de piezas externas, excepto la entrada del material de tungsteno.

La entrada del tungsteno es realizado igual que para la sonda WProbe, con los datos relacionados en la Tabla 4, del ACV realizado a los metales por Philip Nuss [16]. Para la selección del material en el software SimaPro, se asigna el material creado con los datos proporcionados por Nuss. En la Figura 45, se puede observar el montaje del cabezal en SimaPro con el material de tungsteno que fue creado siendo asignado a las piezas correspondiente según el proceso unitario.

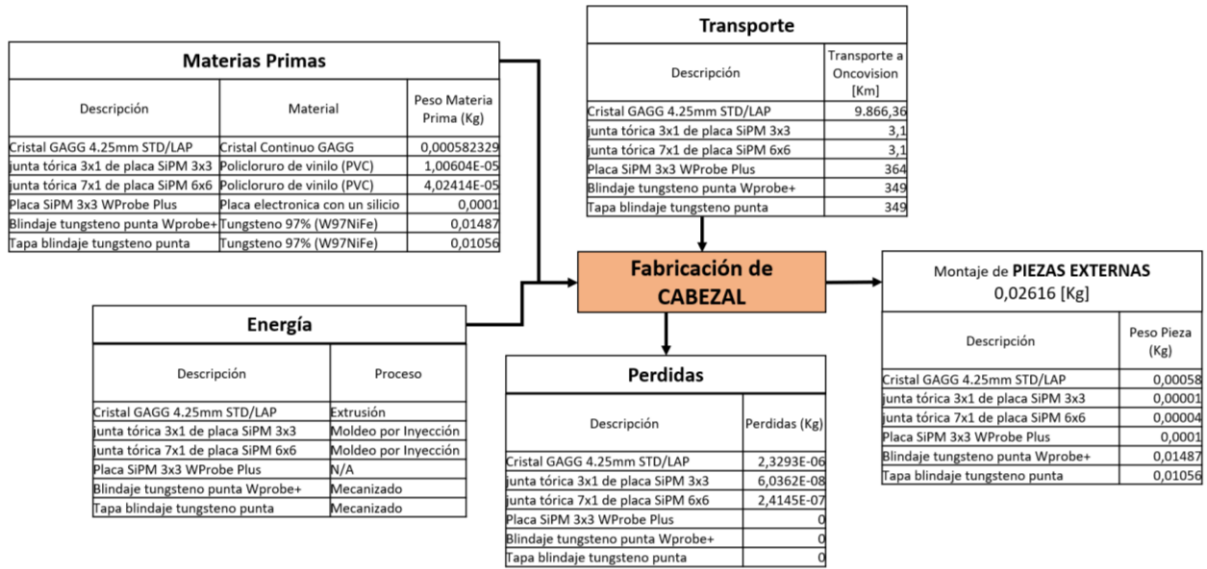


Figura 44. Proceso unitario del montaje de Cabezal en WProbe+

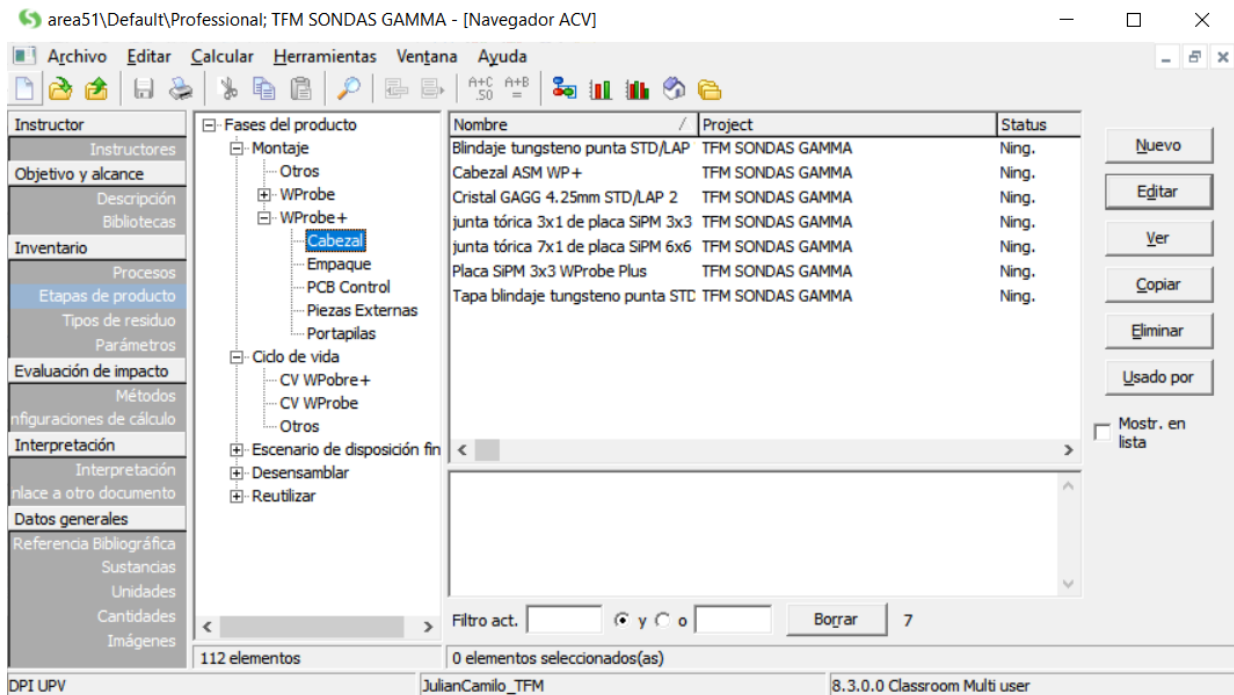


Figura 45. Captura de pantalla SimaPro, montaje de Cabezal en WProbe+.

3. Portapilas; en la ver Figura 46, se muestra que el grupo se compone de 14 piezas, y tienen como funcionalidad proporcionar la tensión de corriente necesaria para que la sonda funcione y ser el compartimiento para almacenar la pila de la sonda. Los datos de entrada fueron recopilados igual que el grupo de piezas externas.

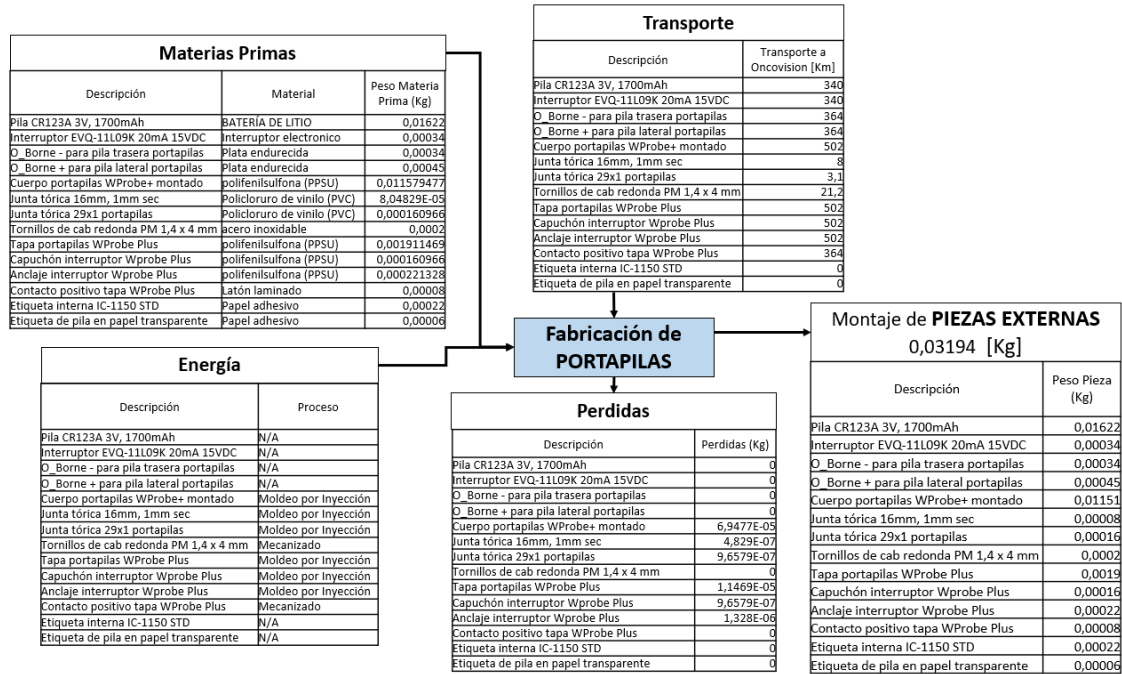


Figura 46. Proceso unitario del montaje de Portapilas en WProbe+.

En la Figura 47, se evidencia el montaje del grupo de piezas Portapilas, y un ejemplo del cargue de la información relacionada en el proceso unitario para la pieza cuerpo del portapilas.

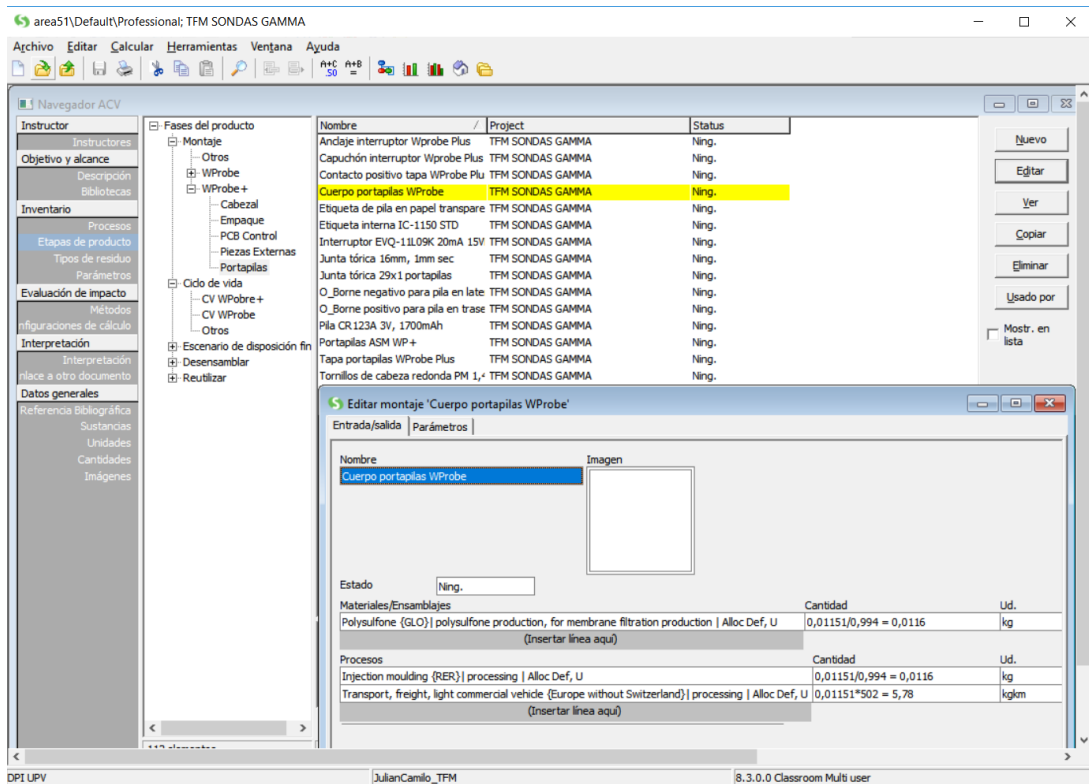


Figura 47. Captura de pantalla SimaPro, montaje de Portapilas en WProbe+.

4. PCP Control; se compone de 6 piezas, las cuales permiten realizar la captura de información y enviarla por bluetooth hacia la Tablet donde se procesa con la ayuda del software. En la Figura 48, se puede observar el proceso unitario de las piezas que componen el montaje del PCB control de la sonda WProbe+. Los datos de entrada fueron recopilados igual que el grupo de piezas externas.

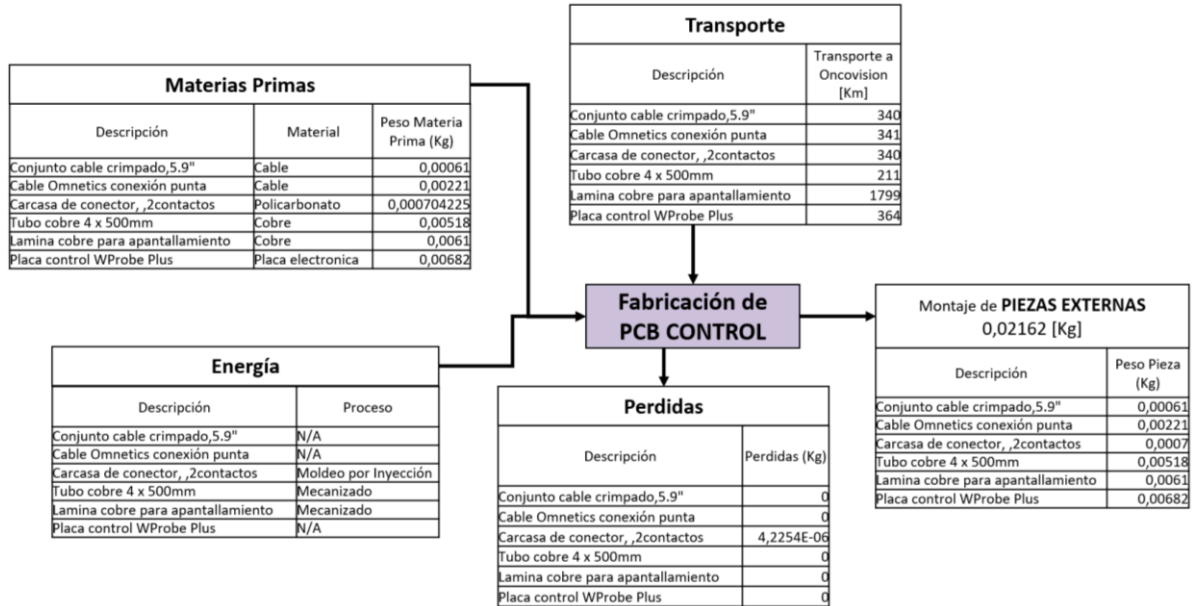


Figura 48. Proceso unitario del montaje de PCB Control en WProbe+.

5. Empaque; para realizar el embalaje de la sonda fabricada se necesitan 11 piezas (ver Figura 50) que componen el grupo de montaje. En la Figura 49, se puede observar el proceso unitario para las piezas que componen el montaje de empaque para ser transportada y almacenada por parte del cliente. Los datos de entrada fueron recopilados igual que el grupo de piezas externas.

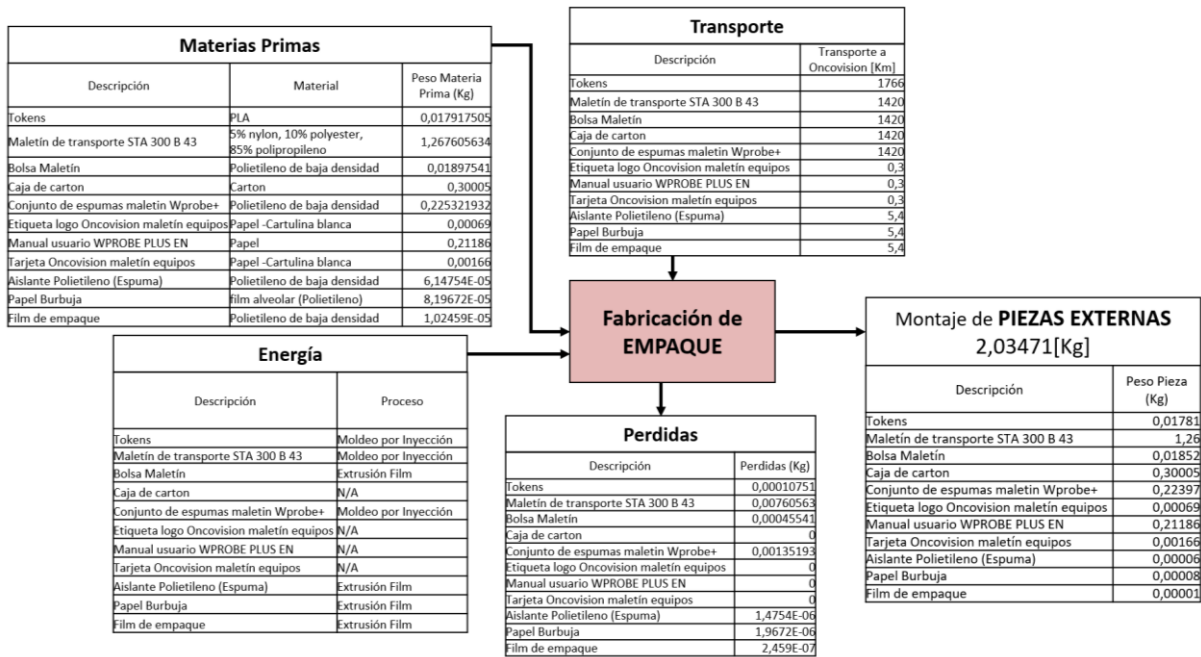


Figura 49. Proceso unitario del montaje de Empaque en WProbe+.

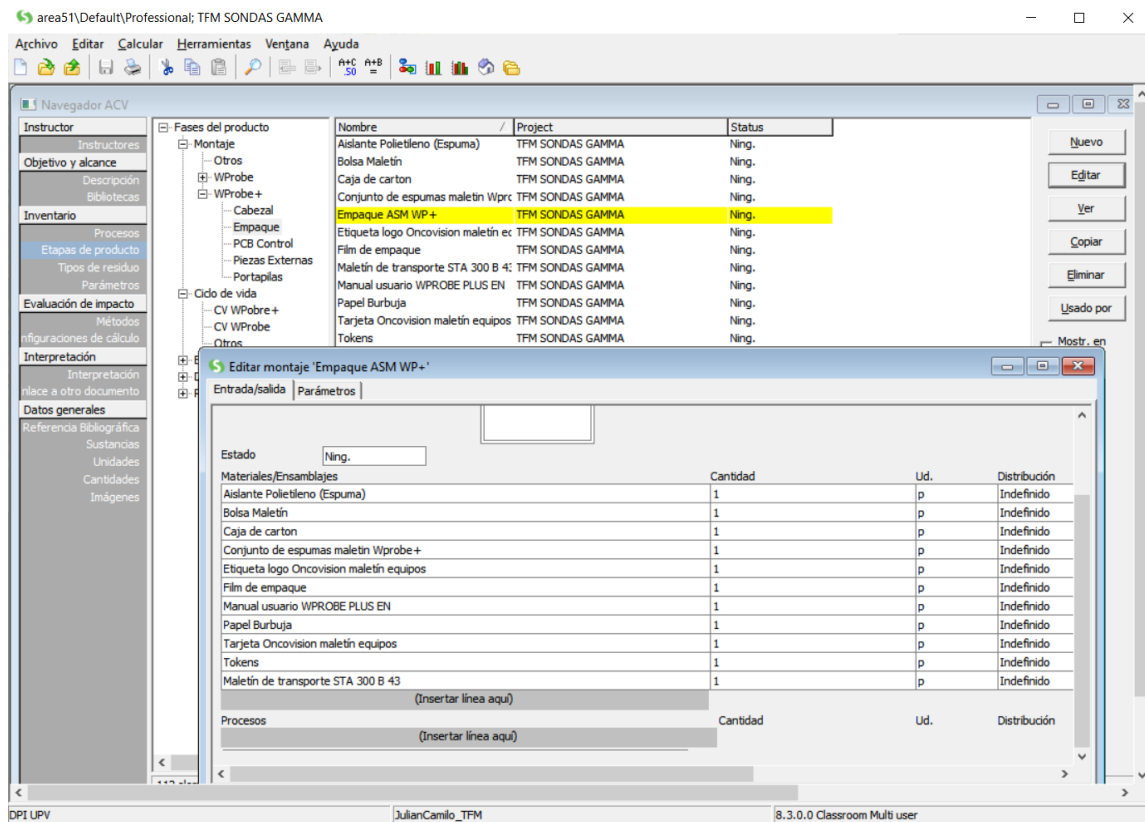


Figura 50. Captura de pantalla SimaPro, montaje del Empaque en WProbe+.

6.2.2.2 Distribución y Transporte

Para el escenario de la fase de distribución y transporte se realizan los mismos cálculos que para el escenario de la sonda WProbe, pero con los datos de venta y transporte de la WProbe+. Para esto se plantea una suma ponderada de las distancias recorridas por cada una de las sondas vendidas por Oncovision. El número de sondas vendidas por país, es proporcionado por el área de ventas de la empresa y se tiene un total de 6 unidades de Sondas WProbe+ vendidas hasta el 24 de mayo del 2019. El cálculo de las distancias es estimado mediante el aplicativo de Google Earth, se realiza desde la salida de la empresa hasta el punto de entrega al cliente en cada país (ver Tabla 8).

Ítem	Países	Nº. Ventas [Uds.]	Distancia Promedio [Km]	Nº. Ventas*Distancia Promedio [Uds. /Km]
1	Nueva Zelanda	3	19485,58	19488,58
2	Dinamarca	1	2479,00	2480,00
3	España	2	686,00	688,00
Total=		6		22656,58

Tabla 8. Cálculo de distancias de distribución de sondas WProbe+ a clientes.

Para el cálculo de la distancia recorrida por la sonda WProbe+, se obtiene una distancia recorrida ponderada de la sonda, esto se realiza teniendo en cuenta la suma total de las distancias recorridas por todas las sondas vendidas entre el total de unidades de sonda vendidas, por lo tanto, el valor de la distancia a recorrer por una sonda WProbe es 3776,09 [Km] para el escenario de uso creado para el presente ACV.

En la Figura 51, se puede observar el proceso unitario para el escenario de la fase distribución y transporte de la sonda WProbe+, con los siguientes datos de entrada; el montaje de la sonda WProbe+ y la distancia a recorrer por la sonda, y como salida; la sonda WProbe en las instalaciones del cliente.

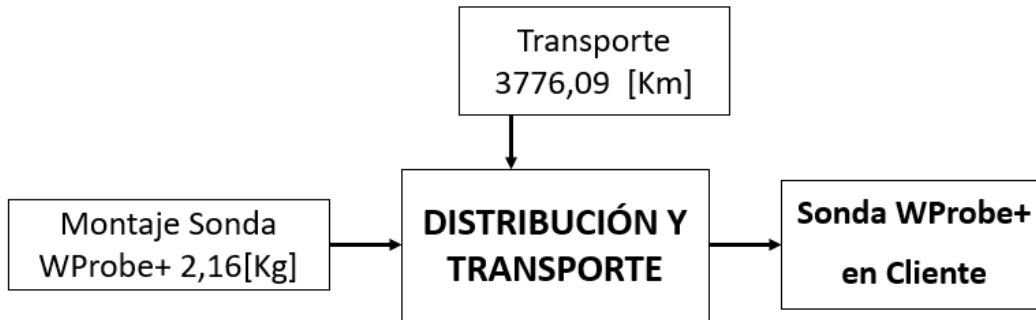


Figura 51. Proceso global de distribución y transporte de la Sonda WProbe+.

6.2.2.3 Uso y Mantenimiento

En el manual de usuario del equipo estipula un tiempo de uso de la batería continuo de 15[h] adquiriendo información y 18[h] en *stanby* o reposo. Cuando se agota la batería la sonda WProbe+, el usuario con ayuda de la pieza tokens puede soltar la tapa y realizar el cambio de la batería.

Para que el ACV comparativo entre las sondas WProbe y WProbe+, el escenario de uso de la sonda WProbe+ es planteada con las mismas condiciones de uso y se describe a continuación:

1. El tiempo que está disponible la sonda en las salas de cirugía cada vez que se va a realizar un procedimiento de detección de ganglio centinela es de 4,25[h] para un ciclo mixto de uso, es decir 0,25[h] la sonda presenta uso continuo (adquiriendo) y 4[h] la sonda permanece en reposo (*stanby*). Este dato es obtenido por consultas a diferentes clientes y es facilitado por la empresa Oncovision para el escenario de uso y mantenimiento.

2. Conociendo que la unidad funcional para el ACV es: el uso durante 2125 horas (500 ciclos, cada ciclo de 4,25 horas) de la sonda gamma para la detección del ganglio centinela en centros médicos ubicados en diferentes zonas geográficas.

El porcentaje de uso del ciclo mixto es la división del tiempo para 1 ciclo de cada modo de uso entre el tiempo total del ciclo mixto. El tiempo de uso real de la sonda es; el porcentaje de uso del ciclo mixto por la duración de la batería para cada modo de uso. Por último, el tiempo total de uso real de la sonda por batería es la suma del tiempo de uso real de cada modo de uso. En la Tabla 9, se muestra que el tiempo de total de uso real de la sonda por batería es 17,82[h] teniendo en cuenta el tiempo de uso para un ciclo.

Modo de Uso	Duración de la Batería[h]	Tiempo para 1 Ciclo [h]	% Uso del Ciclo Mixto	Tiempo de Uso Real de la Sonda [h]
Ciclo Mixto	-	4,25	-	-
Adquiriendo	15	0,25	5,88%	0,882
<i>Stanby</i>	18	4	94,12%	16,941
Tiempo total de uso real de la sonda por Batería				17,82

Tabla 9. Tiempo de uso real de la sonda para una batería de la sonda WProbe.

3. La cantidad de ciclos para 1 batería es la división entre el tiempo total de uso real de la sonda por Batería entre el tiempo para 1 ciclo.

$$\text{Cantidad de ciclos para 1 batería} = 17,82 / 4,25$$

$$\text{Cantidad de ciclos para 1 batería} = 4,2 \approx 4$$

4. Para conocer la cantidad de Baterías a utilizar según la unidad funcional del ACV (500 ciclos de uso - 2125 [h]) se divide la cantidad de ciclos entre la cantidad de ciclos por batería.

$$\text{Cantidad de Baterías para los 500 ciclos de uso} = 500 / 4$$

$$\text{Cantidad de Baterías para los 500 ciclos de uso} = 125$$

A diferencia de la sonda WProbe, la WProbe+ no tiene que ser transportada hasta el punto de fabrica para ser cambiada la batería o ser intervenida para mantenimiento, los mismos usuarios pueden realizar este cambio de batería y el mantenimiento se realizaría si la sonda presenta fallas, ya que la calidad de materiales asignados permite que tenga la vida útil de los 500 ciclos o 10 años para que la ha sido fabricada. La cantidad de cambios de baterías que el usuario debe de realizar es 124, ya que la sonda se entrega al usuario con 1 batería para su primer uso.

En la Figura 52, se muestra el proceso unitario del uso y mantenimiento de la sonda. Tiene como entradas, la sonda WProbe en cliente y la batería nueva que se cambia cada 4 ciclos de uso. Como salida tiene la batería usada cada 4 ciclos, y la retirada de la sonda WProbe (fin de vida).

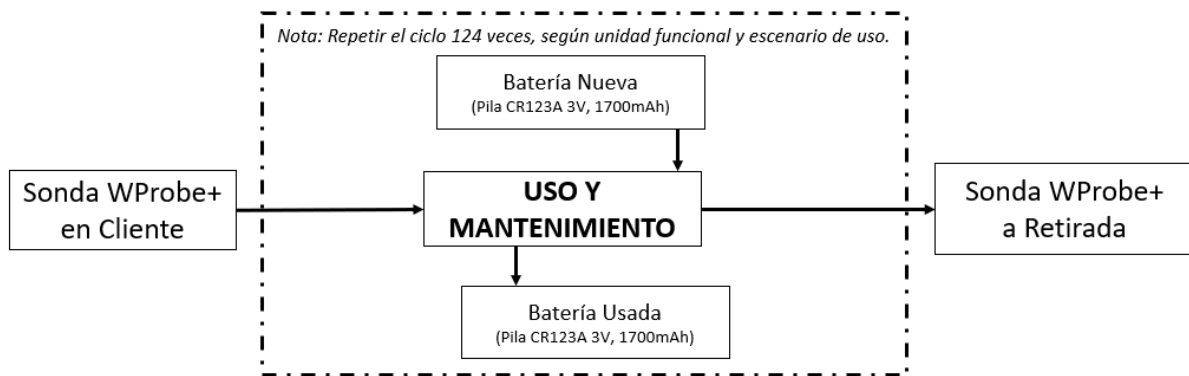


Figura 52. Proceso unitario de Uso y Mantenimiento de la Sonda WProbe.

6.2.2.4 Fin de vida

El escenario de fin de vida de la sonda WProbe+ es igual al de la sonda WProbe, para más información del escenario remitirse al apartado 6.2.1.4 fin de vida de la sonda WProbe. En la Figura 53, se muestra el proceso unitario para la fase de fin de vida de la sonda WProbe+ con los porcentajes correspondientes de la gestión de residuos.

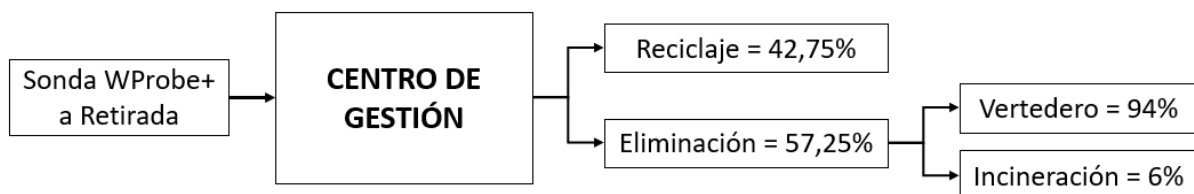


Figura 53. Proceso unitario de Fin de Vida de la Sonda WProbe+.

6.2.3 Ciclo de vida de las sondas en SimaPro

Con el inventario terminado se realiza el montaje del ciclo de vida de las sondas en el software SimaPro se necesitan los montajes las piezas, el transporte, el uso y mantenimiento, y el fin de vida de las sondas. En la fase de uso y mantenimiento, se debe crear un ciclo de vida adicional para las baterías de reemplazo en cada sonda, es por esto que se crea un ciclo de vida con cada una de las baterías para la sonda WProbe y WProbe+.

En el ciclo de vida de la batería de la sonda WProbe (ver Figura 54), se evidencia las entradas de las baterías, el transporte de volver al punto de fabrica para ser cambiada y el escenario de residuos de la base de datos de Ecoinvent para las baterías. Para el ciclo de vida de la batería de la sonda WProbe+ (ver Figura 55), se evidencia la entrada de la batería y el escenario de residuos de la base de datos de Ecoinvent para las baterías.

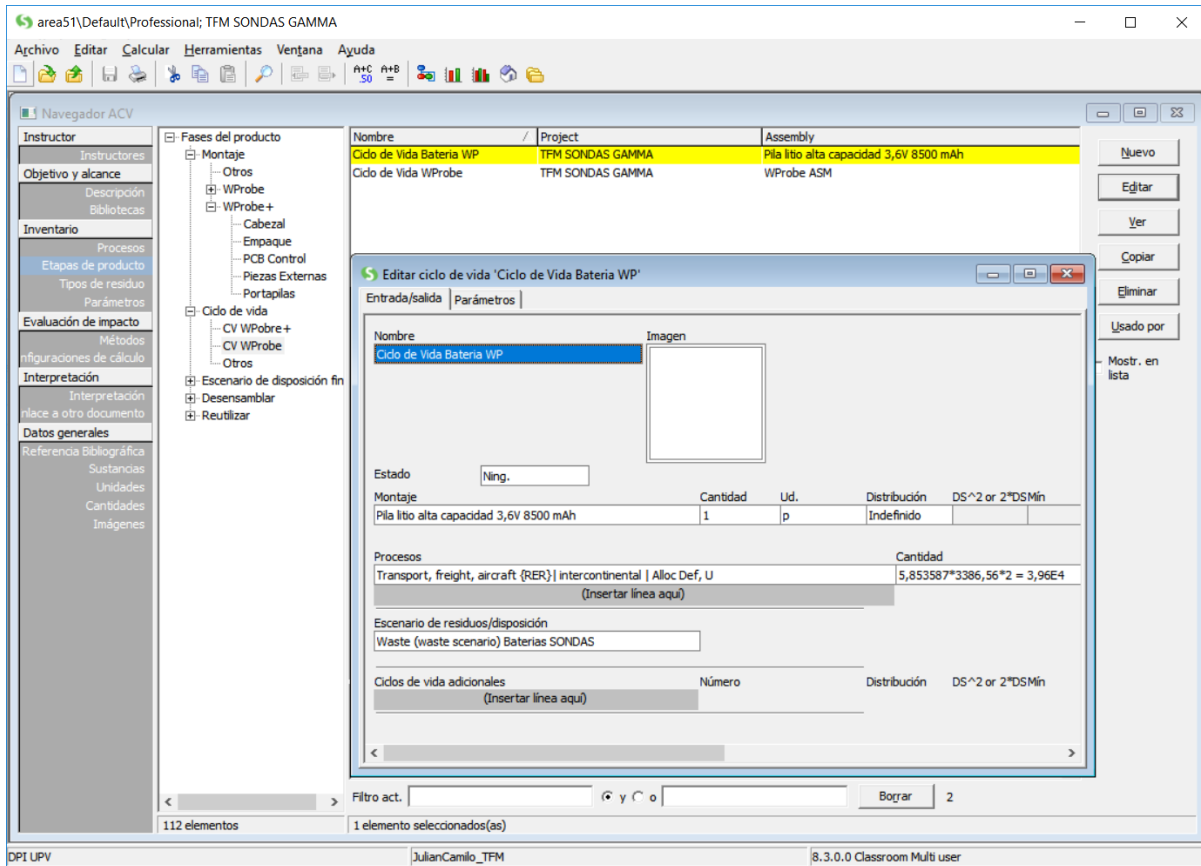


Figura 54. Captura de pantalla SimaPro, montaje de ciclo de vida Baterías en WProbe.

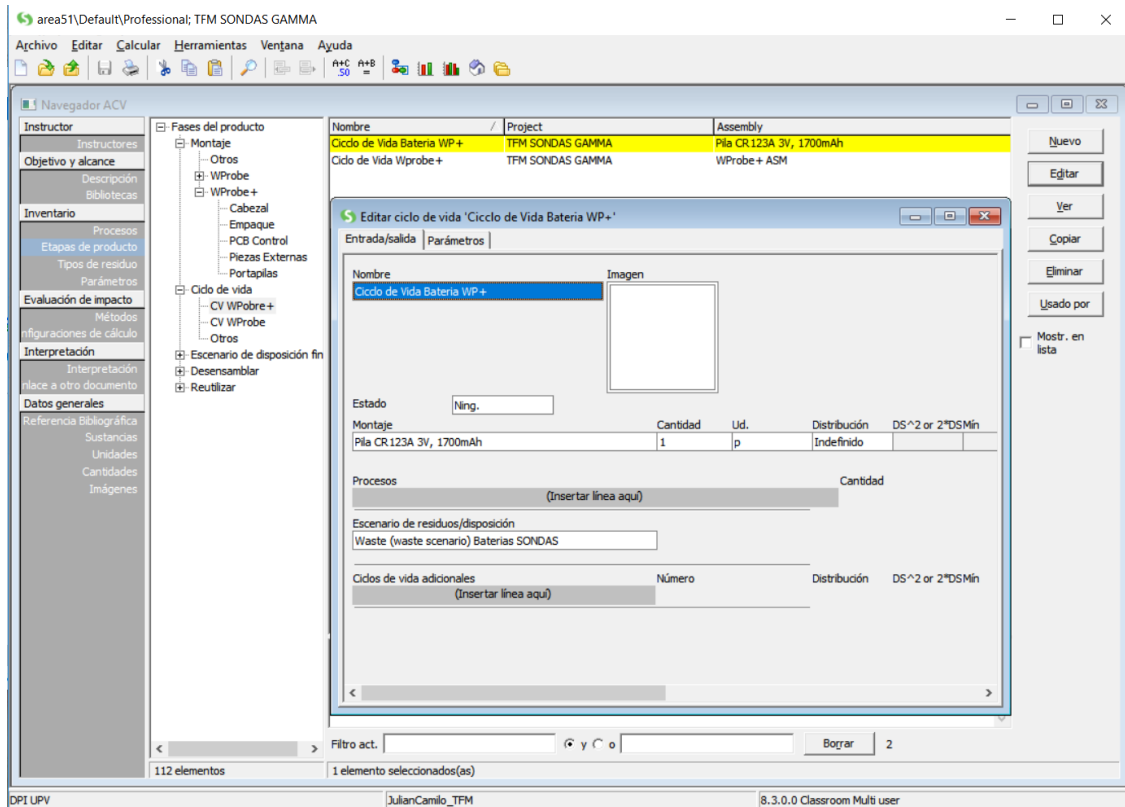


Figura 55. Captura de pantalla SimaPro, montaje de ciclo de vida Baterías en WProbe+.

Con toda la información obtenida en el inventario del ACV, se realiza el ciclo de vida en el software SimaPro para cada sonda. El proceso unitario global del ciclo de vida de la sonda WProbe se puede observar en la Figura 56, y en la Figura 57, se muestra el montaje del ciclo de vida de la sonda WProbe en el software SimaPro, teniendo como entradas el montaje WProbe ASM y el transporte, y como salida el escenario de residuos creado. Adicionalmente se agregó el ciclo de vida de la batería de la sonda WProbe, con un número de 6 correspondiente a los 6 cambios de batería mencionados en el apartado 6.2.1.3, y así dar cumplimiento con la unidad funcional planteada.

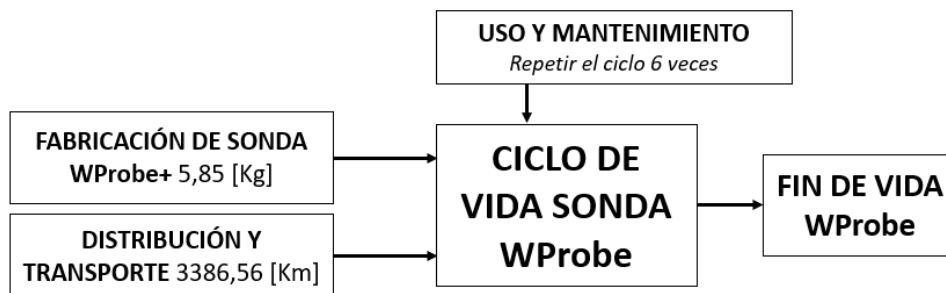


Figura 56. Proceso global del Ciclo de Vida Sonda WProbe.

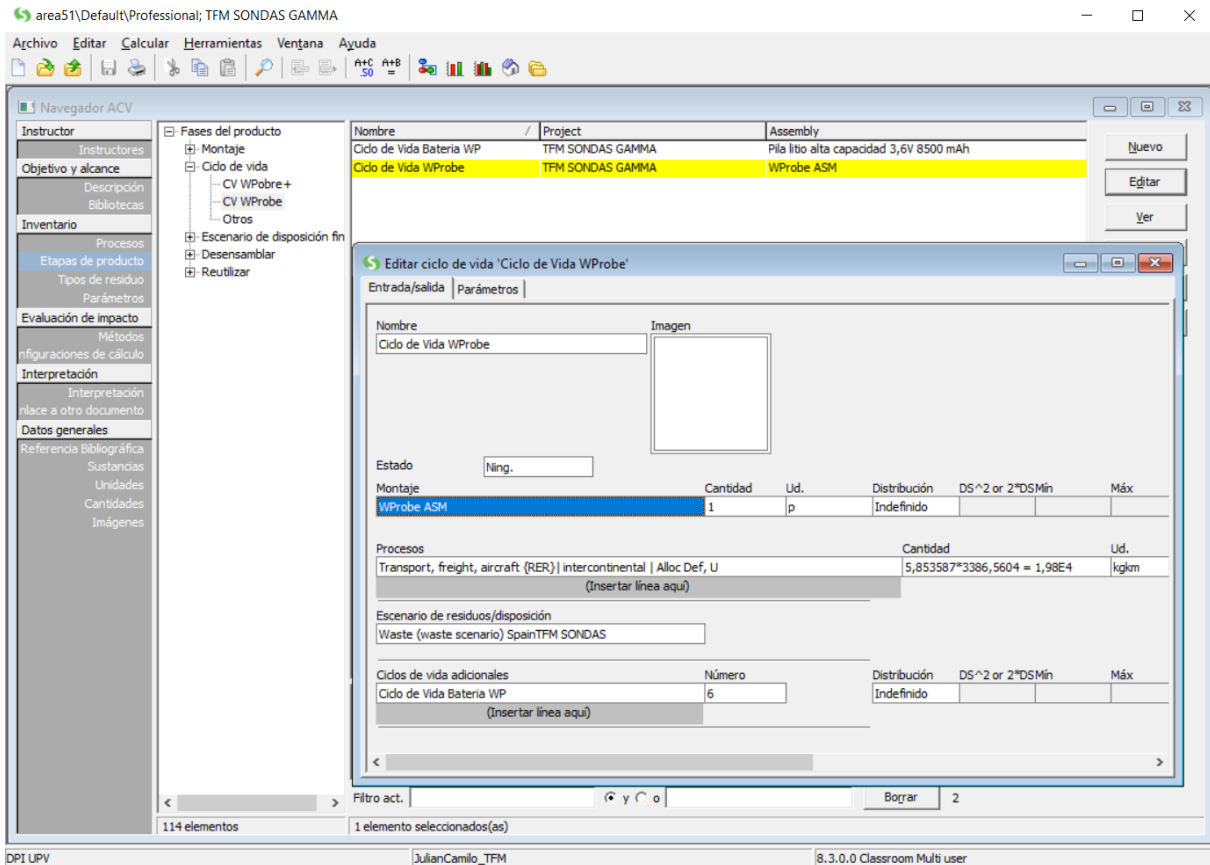


Figura 57. Captura de pantalla SimaPro, ciclo de vida de la sonda WProbe.

En el ciclo de vida de la sonda WProbe+, el proceso unitario global del ciclo de vida de la sonda WProbe+ se puede observar en la Figura 58, y en la Figura 59, se puede observar las entradas del montaje WProbe+ ASM y el transporte para la fase de distribución en el software SimaPro. También el escenario de residuos creado y el ciclo de vida de la batería de la sonda WProbe+, con un numero de 124 correspondiente a los 124 cambios de batería mencionados en el apartado 6.2.2.3, con el fin de dar cumplimiento a la unidad funcional.

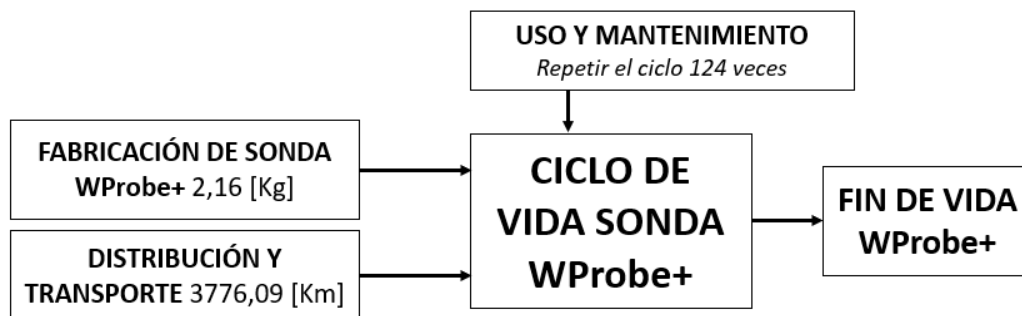


Figura 58. Proceso global del Ciclo de Vida Sonda WProbe+.

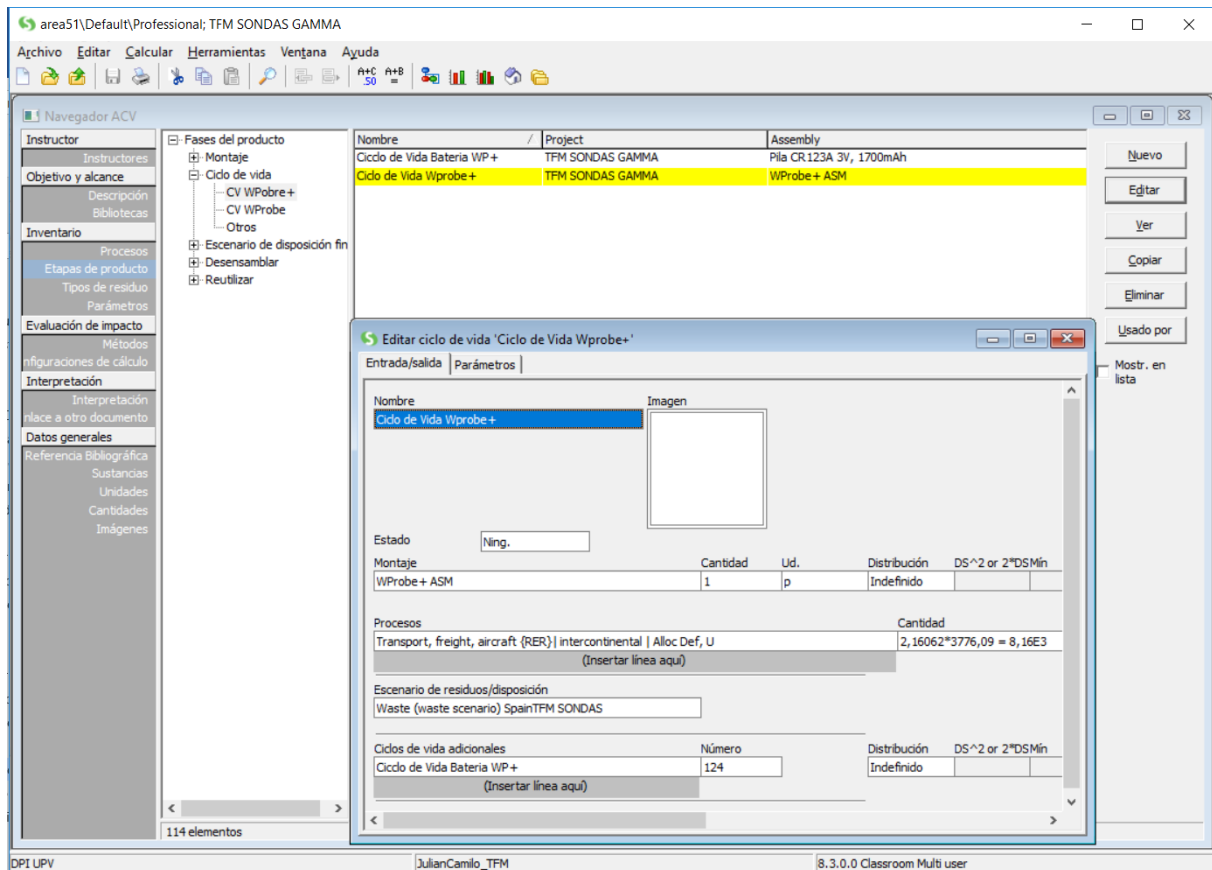


Figura 59. Captura de pantalla SimaPro, Ciclo de Vida sonda WProbe+.

6.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida

6.3.1 Selección de categorías de impacto.

La selección de las categorías de impacto ya se ha indicado en el apartado 6.1.2.5 Metodología del EICV y los tipos de impactos, y se confirma que se utilizarán todas las categorías del método de ReCiPe Endponit (I). Este método calcula 17 indicadores de punto medio (ver Figura 23), y 3 indicadores de punto final (ver Figura 24).

6.3.2 Clasificación

En la asignación de resultados de inventario se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado, es decir, cada categoría de impacto representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos unitarios o el sistema producto del análisis.

En el anexo A, se muestra el inventario del ACV realizado para las sondas WProbe y WProbe+ con la ayuda del software SimaPro y clasificado en cada categoría de impacto indicada la Figura 23, en el que se evidencia la suma de diferentes intervenciones o factores ambientales para una misma categoría.

6.3.3 Caracterización

En las Figura 60 y Figura 61, se puede evidenciar la modelización de los datos del inventario para cada una de las categorías de impacto del método ReCiPe generando el gráfico de caracterización del ciclo de vida de cada sonda.

Para el ciclo de vida de WProbe, se puede observar en la Figura 60, cómo influye cada etapa del ciclo de vida en las 17 categorías de impacto que se analizan en el presente trabajo. La etapa que más influye en la mayoría de las categorías de impacto es la de uso y mantenimiento, con el ciclo de vida de las baterías que se presenta en el escenario planteado. En segundo lugar, la fabricación de la sonda influye negativamente en 8 de las categorías.

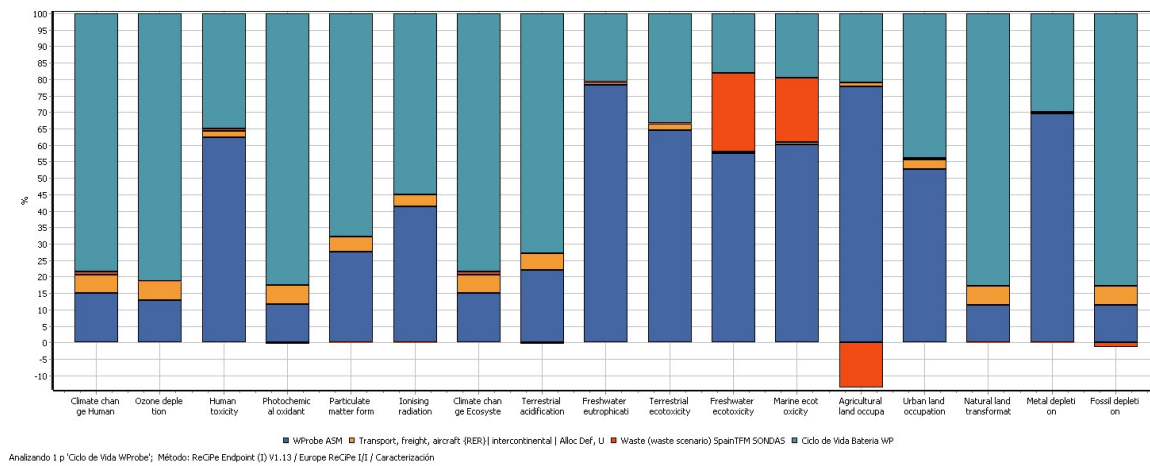


Figura 60. Gráfica de caracterización, Ciclo de Vida sonda WProbe.

En el ciclo de la WProbe+, en la Figura 61 se puede observar como la fase de fabricación de la sonda impacta en menor cantidad en 8 categorías y como aumenta el impacto producido por la etapa de uso y mantenimiento por los cambios de las baterías. También se puede observar cómo se influye positivamente en diferentes categorías de impacto gracias al escenario que se presenta en la etapa de fin de vida de las sondas.

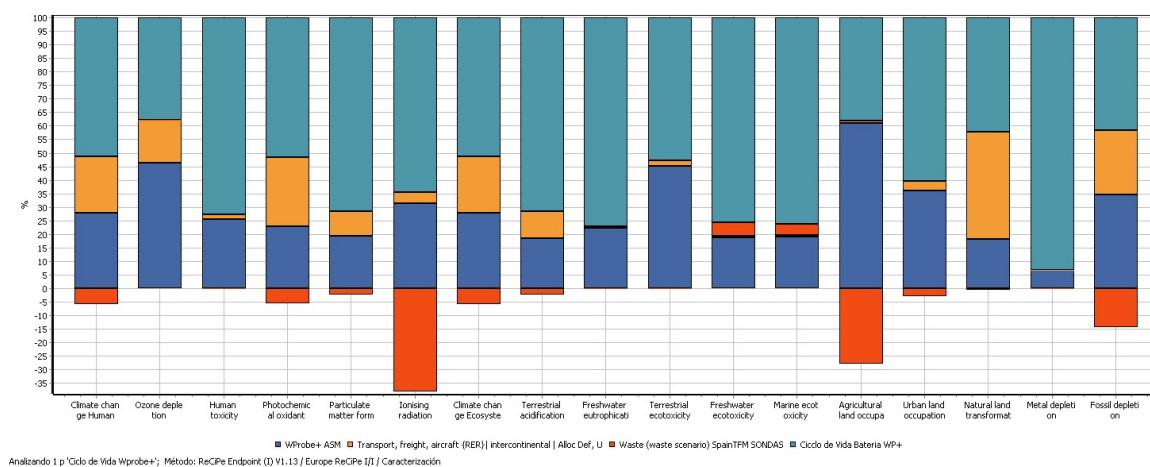


Figura 61. Gráfica de caracterización, Ciclo de Vida sonda WProbe+.

6.3.4 Elementos optativos

Para obtener el gráfico de puntuación única se tiene que normalizar y asignar un valor de importancia a los resultados de cada categoría de impacto de la siguiente forma.

Según el método ReCiPe Endpoint (I) y el tipo de evaluación "Europe ReCiPe I/I" que se refiere a los valores de normalización de Europa con la ponderación correspondiente a la perspectiva individualista. En la Tabla 10, se evidencia la normalización de las categorías de impacto punto final para el presente ACV.

Normalización - Método ReCiPe Endpoint (I) / Europe ReCiPe I/I		
Salud humana	47,6	DALY
Ecosistemas	5380	species.yr
Recursos	0,00761	\$

Tabla 10. Normalización, Método ReCiPe Endpoint (I) / Europe ReCiPe I/I

El método ReCiPe Endpoint (I) y el tipo de evaluación "Europe ReCiPe I/I" también le da una importancia a cada una de las categorías de impacto de punto final. En la Tabla 11, se puede observar que es más importante el daño a la salud humana, seguido del impacto sobre los ecosistemas y finalmente el valor económico de los recursos naturales.

Ponderación - Método ReCiPe Endpoint (I) / Europe ReCiPe I/I	
Salud humana	550
Ecosistemas	250
Recursos	200

Tabla 11. Ponderación de importancia a las categorías de impacto de punto final.

En el apartado 6.4.1.2 y 6.4.2.2 se puede evidenciar las gráficas de puntuación única de las sondas WProbe y WProbe+, las cuales han sido normalizadas y ponderado en el software SimaPro por el método seleccionado.

6.4 Interpretación del ciclo de vida

La interpretación es la cuarta etapa del ACV de un producto, los datos y gráficos obtenidos fueron generados en el software SimaPro, y permiten realizar la interpretación y comparación de las dos sondas gamma.

6.4.1 Sonda WProbe

6.4.1.1 Caracterización Ciclo de vida WProbe

En el gráfico de caracterización del ciclo de vida WProbe (ver Figura 60, apartado 6.3.3), se puede observar que la etapa de uso y mantenimiento (Ciclo de Vida Batería WP) es la que más repercute sobre las categorías de impacto, un total de 9 de 17 categorías entre ellas; cambio climático en la salud humana, agotamiento de la capa de ozono, formación fotoquímica de oxidantes, formación de material particulado, radiación ionizante, cambio climático en los ecosistemas, acidificación terrestre, transformación natural del suelo y Agotamiento de los fósiles.

La etapa de fabricación de la sonda (WProbe ASM) influye en 8 de las 17 categorías siendo la segunda etapa que más influye, las categorías en las que más influye son; toxicidad en humanos, eutrofización de agua dulce, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad del agua dulce, ecotoxicidad marina, ocupación de tierras agrícolas, ocupación del suelo urbano y agotamiento del metal.

La etapa de transporte influye muy poco comparado con las dos etapas mencionados anteriormente, y la etapa de fin de vida (Waste) repercute positivamente sobre las categorías de ocupación del suelo urbano y agotamiento de los fósiles.

6.4.1.2 Puntuación única Ciclo de vida WProbe

En la Figura 62, se evidencia el gráfico de puntuación única para el ciclo de vida de la sonda WProbe. El valor total del impacto producido por la sonda es de 30,82Pt (ver Tabla 12), el cual, el 70,77% corresponden a la etapa de uso y mantenimiento (21,81Pt), en segundo lugar, con un 23,57% la fabricación de la sonda (7,26Pt), en tercer lugar con un 5,62% la etapa de transporte (1,73Pt) y finalmente con un 0,04% para el fin de vida (0,01Pt).

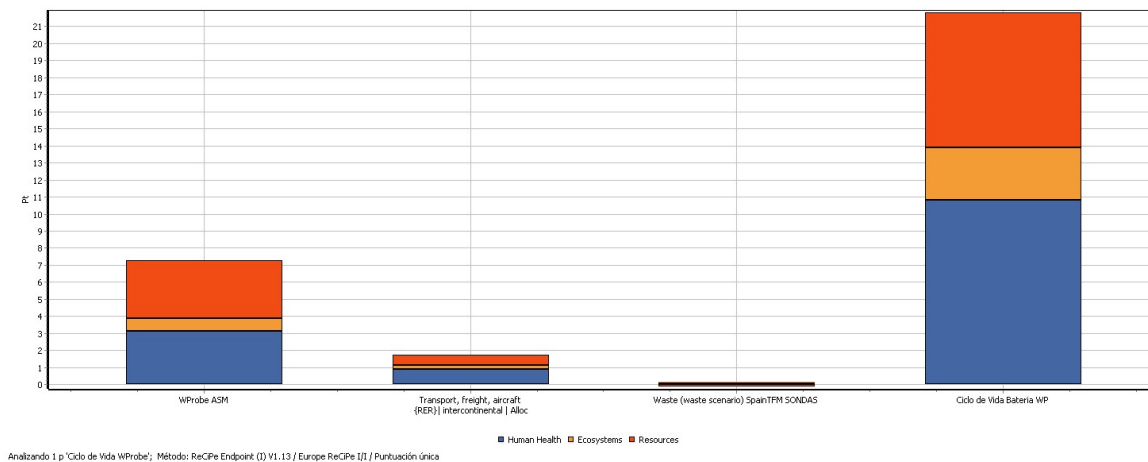


Figura 62. Gráfica puntuación única Ciclo de Vida sonda WProbe.

Impacto de etapas del Ciclo de Vida de WProbe		
Etapas	[%]	[Pt]
WProbe ASM	23,57%	7,26
Transport	5,62%	1,73
Waste	0,04%	0,01
Ciclo de Vida Batería WP	70,77%	21,81
Total, impacto=	100,0%	30,82

Tabla 12. Impacto de etapas del Ciclo de Vida sonda WProbe.

Teniendo en cuenta lo anterior se analizan las dos etapas de mayor impacto, uso y mantenimiento (Ciclo de Vida Batería WP) y fabricación (WProbe ASM) con el fin de conocer en detalle cuáles son los factores que repercuten sobre el ciclo de vida de la sonda WProbe.

- Puntuación única etapa uso y mantenimiento de la sonda WProbe.

La etapa de uso y mantenimiento (Ciclo de Vida Batería WP, ver Figura 63), es la que más repercute sobre los impactos producidos por la sonda WProbe, esto se produce por el transporte que se genera en el cambio de las baterías, cabe recordar que para esta sonda se deben de realizar 6 cambios de baterías para el escenario de uso planteado, por lo tanto, la sonda viaja 6 veces al punto de fábrica. Por tal motivo, el transporte influye con un 95,35% (20,79Pt) y la batería 4,46% (0,97 Pt).

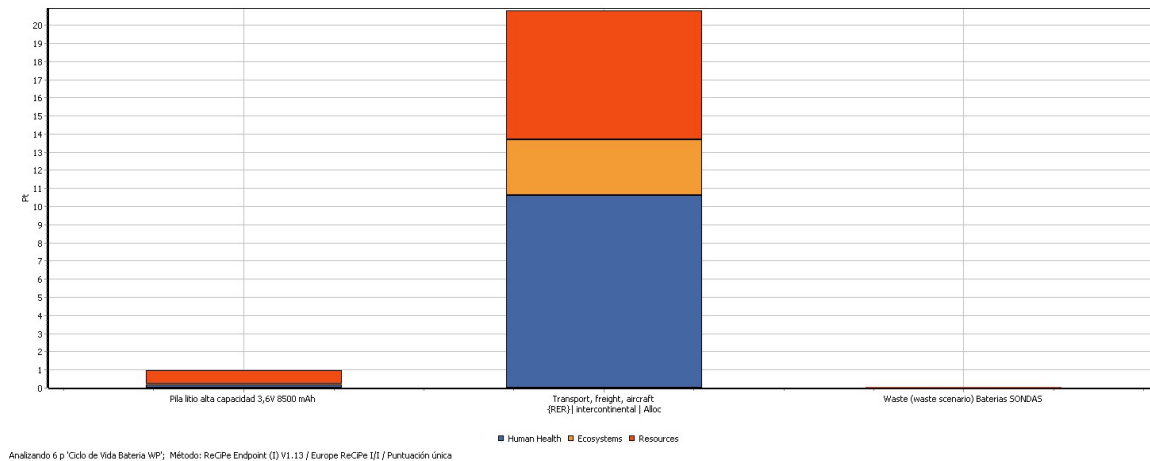


Figura 63. Gráfica puntuación única etapa de uso y mantenimiento sonda WProbe.

- Puntuación única etapa de fabricación de la sonda WProbe.

La etapa de fabricación (WProbe ASM, ver Figura 64), es la segunda etapa que más influye sobre el ciclo de vida de la sonda WProbe según el gráfico de puntuación única (ver Figura 62). En esta etapa el primer lugar lo ocupa el grupo de montaje Empaque ASM WP con un 78,32% (5,68Pt), los cuatro grupos de montaje restantes se encuentran con valores de impactos muy cercanos entre sí y muy alejados comparándolos con el montaje del empaque (ver Tabla 13).

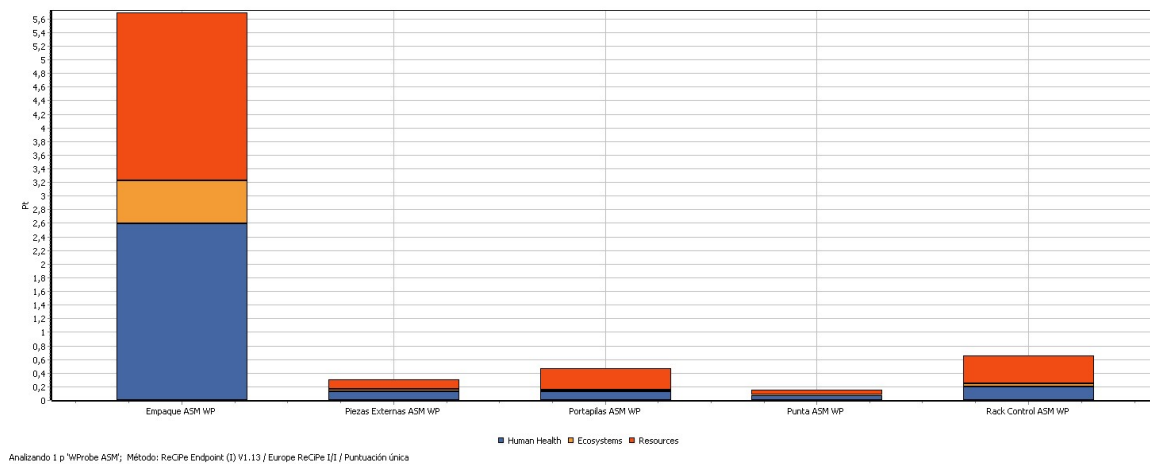


Figura 64. Gráfica puntuación única etapa de fabricación sonda WProbe.

Impacto etapa de fabricación de WProbe		
Montaje	[%]	[Pt]
Empaque ASM WP	78,32%	5,69
Piezas Externas ASM WP	4,20%	0,30
Portapilas ASM WP	6,46%	0,47
Punta ASM WP	2,05%	0,15
Rack Control ASM WP	8,97%	0,65
Total, impacto=	100,00%	7,26

Tabla 13. Impacto etapa de fabricación sonda WProbe.

El grupo de montaje Empaque ASM WP, genera un impacto de 5,69Pt sobre el total del ciclo de vida de la sonda, es decir el 18,43% del total de impacto producido por la sonda en todo su ciclo de vida. Teniendo en cuenta esto, en el gráfico de árbol generado por SimaPro (ver Figura 65), se evidencia que el factor que más influye en la generación de este impacto es la pieza Maletín Topstar IV en un 89,5% (5,09Pt), influyendo el material Aluminio con el que es fabricada la pieza en un 57,1% (3,25Pt).

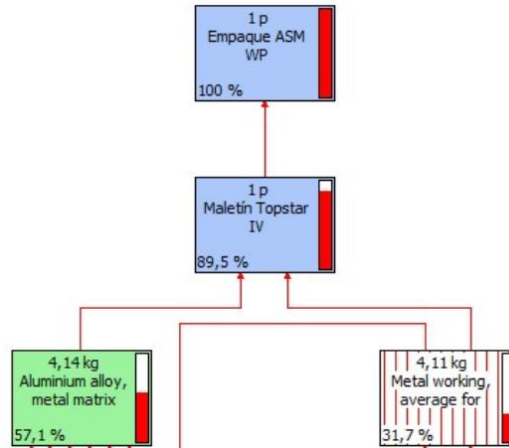


Figura 65. Gráfica Árbol del grupo de montaje Empaque ASM WP de sonda WProbe.

El Maletín Topstar IV, a pesar que es muy importante para la protección y almacenamiento de la sonda, no es desarrollado directamente por la empresa Oncovision, es decir, la pieza es seleccionada por la empresa y suministrada por un proveedor externo y puede ser cambiada en cualquier momento, sin alterar el funcionamiento de la sonda WProbe+. Por tal motivo, se procede a realizar la interpretación de la fabricación de la sonda sin el grupo de montaje Empaque ASM WP, y así evidenciar qué grupo de montaje desarrollado y fabricado por la empresa es el que más afecta en la etapa de fabricación de la sonda gamma WProbe.

En la Figura 66, se puede evidenciar la gráfica de puntuación única de la etapa de fabricación sin tener en cuenta el grupo de montaje Empaque ASM WP. En ella, se puede observar que el grupo de piezas que más afecta a la fabricación de la sonda es el Rack Control ASM WP con un 41,38% (0,65Pt), seguido del Portapilas ASM WP con un 29,78% (0,46Pt), el grupo de Piezas Externas ASM WP con un 19,37% (0,30Pt) y finalmente el grupo Punta ASM WP 9,47% (0,14Pt), para un total de impacto de 1,57Pt sobre el ciclo de vida la sonda (ver Tabla 14).

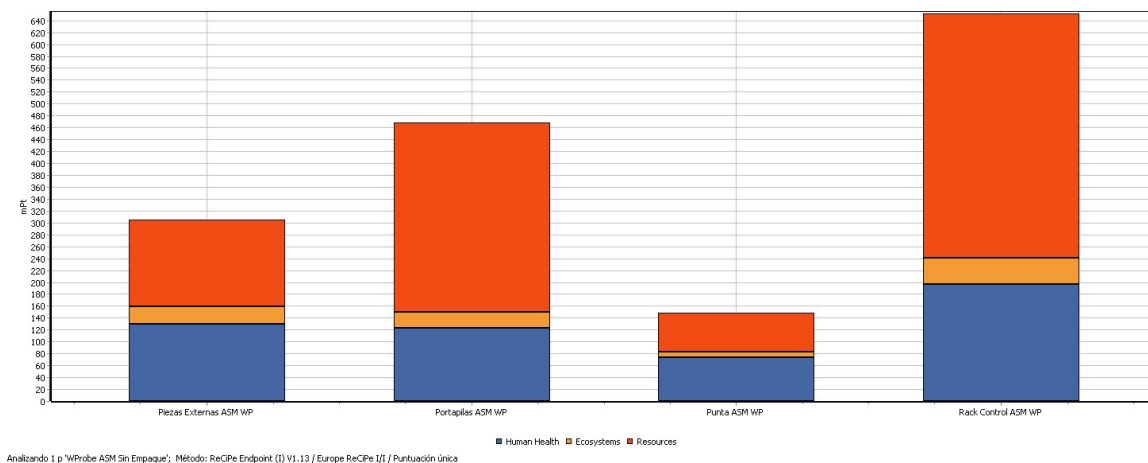


Figura 66. Gráfica puntuación única etapa de fabricación sin empaque de sonda WProbe.

Impacto etapa de fabricación sin empaque de WProbe		
Montaje	[%]	[Pt]
Piezas Externas ASM WP	19,37%	0,305
Portapilas ASM WP	29,78%	0,469
Punta ASM WP	9,47%	0,149
Rack Control ASM WP	41,38%	0,652
Total, impacto=	100,00%	1,57

Tabla 14. Impacto etapa de fabricación sin empaque de sonda WProbe.

En la gráfica árbol de la etapa fabricación sin el grupo de montaje Empaque ASM WP (ver Figura 67), se puede observar que las piezas que más generan impacto en esta etapa del ciclo de vida de la sonda son; Placa de control con un 22,5% (0,354Pt) y el Módulo Bluetooth 16,3% (0,256Pt) que pertenecen al grupo de montaje Rack Control ASM WP, sobre el 100% de la etapa de fabricación sin el grupo de montaje empaque.

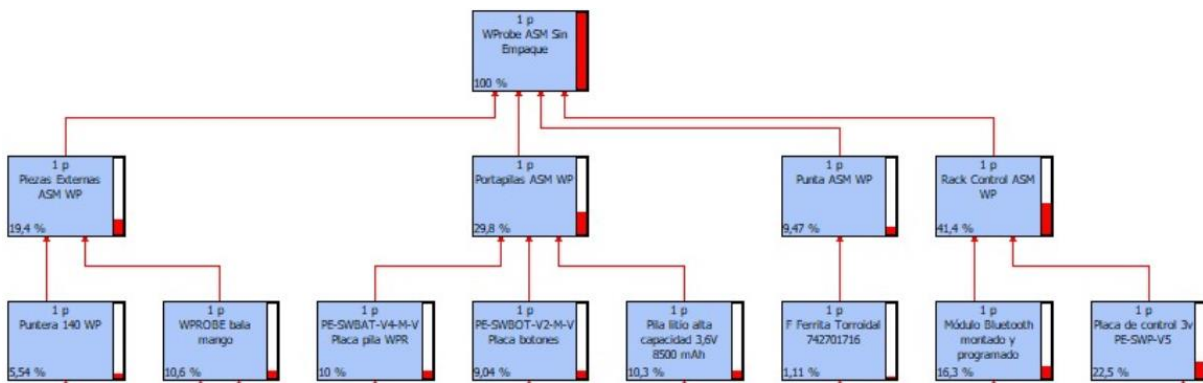


Figura 67. Gráfica Árbol de la etapa de fabricación sin el montaje Empaque ASM WP.

En el anexo B, se encuentran las gráficas de puntuación única de los grupos de montaje restantes que tienen muy poca repercusión sobre el impacto global.

6.4.2 Sonda WProbe+

6.4.2.1 Caracterización Ciclo de vida WProbe+

En el gráfico de caracterización del ciclo de vida WProbe (ver Figura 61, apartado 6.3.3), se puede observar que la etapa de uso y mantenimiento (Ciclo de Vida Batería WP+) es la que más repercute por encima del 50% sobre 13 de las 17 categorías de impacto entre ellas; cambio climático en la salud humana, toxicidad en humanos, formación fotoquímica de oxidantes, formación de material particulado, radiación ionizante, cambio climático en los ecosistemas, acidificación terrestre, eutrofización de agua dulce, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad del agua dulce, ecotoxicidad marina, ocupación del suelo urbano y agotamiento del metal.

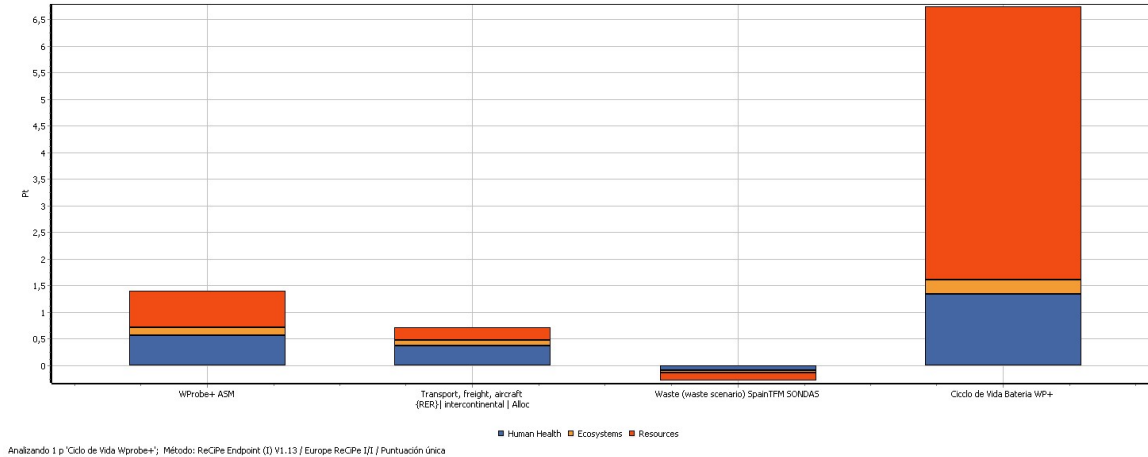
La etapa de fabricación de la sonda (WProbe+ ASM) influye en 3 de las 17 categorías siendo la segunda etapa que más influye, las categorías en las que más influye son; agotamiento de la capa de ozono, la ocupación de tierras agrícolas y agotamiento de los fósiles.

La etapa de transporte (Transport) influye en alto grado en la categoría transformación natural del suelo, y la etapa de fin de vida (Waste) repercute positivamente sobre las categorías de radiación ionizante, ocupación de tierras agrícolas y agotamiento de los fósiles.

6.4.2.2 Puntuación única Ciclo de vida WProbe+

Para el ciclo de vida de la sonda WProbe+, el gráfico de puntuación única (ver Figura 68) se evidencia un impacto total de 8,57Pt (ver Tabla 15), de los cuales el 78,67% corresponden a la etapa de uso y

mantenimiento (6,75Pt), en segundo lugar, con un 16,35% la fabricación de la sonda (1,40Pt), en tercer lugar con un 8,32% la etapa de transporte (0,71Pt) y finalmente con un -3,34% para el fin de vida (-0,29Pt), este valor negativo indica que genera un impacto positivo sobre las categorías a las que repercute.



Analizando 1 p 'Ciclo de Vida Wprobe+'. Método: ReCPE Endpoint (1) V1.13 / Europe ReCPE IT / Puntuación única

Figura 68. Gráfico puntuación única Ciclo de Vida WProbe+.

Impacto de etapas del Ciclo de Vida de WProbe+		
Etapas	[%]	[Pt]
WProbe+ ASM	16,35%	1,40
Transport	8,32%	0,71
Waste	-3,34%	-0,29
Ciclo de Vida Batería WP+	78,67%	6,75
Total, impacto=	100,0%	8,57

Tabla 15. Impacto de etapas del Ciclo de Vida sonda WProbe+.

Teniendo en cuenta lo anterior se analizan las dos etapas de mayor impacto, uso y mantenimiento (Ciclo de Vida Batería WP+) y fabricación (WProbe+ ASM) con el fin de conocer en detalle cuáles son los factores que repercuten sobre el ciclo de vida de la sonda WProbe.

- Puntuación única etapa uso y mantenimiento de la sonda WProbe+.

La etapa de uso y mantenimiento (Ciclo de Vida Batería WP+, ver Figura 69), es la que más repercute sobre los impactos producidos por la sonda WProbe, ya que en el escenario de uso planteado la sonda debe someterse a 124 cambios de baterías para que puedan funcionar correctamente durante su vida útil. La batería es la pieza Pila CR123A 3V, la cual repercute con un 96% (6,46Pt) y el fin de vida en un 4% (0,27 Pt).

- Puntuación única etapa de fabricación de la sonda WProbe+.

La etapa de fabricación (WProbe+ ASM, ver Figura 70), es la segunda etapa que más influye sobre el ciclo de vida de la sonda WProbe según el gráfico de puntuación única (ver Figura 68). En esta etapa el primer lugar lo ocupa el grupo de montaje Empaque ASM WP+ con un 50,45% (0,71Pt), en segundo lugar, el grupo montaje PCB Control ASM WP+ con un 29,93% (0,42Pt), y los tres grupos de montaje restantes se encuentran con valores de impactos muy cercanos entre sí y muy alejados comparándolos con el montaje del empaque (ver Tabla 16).

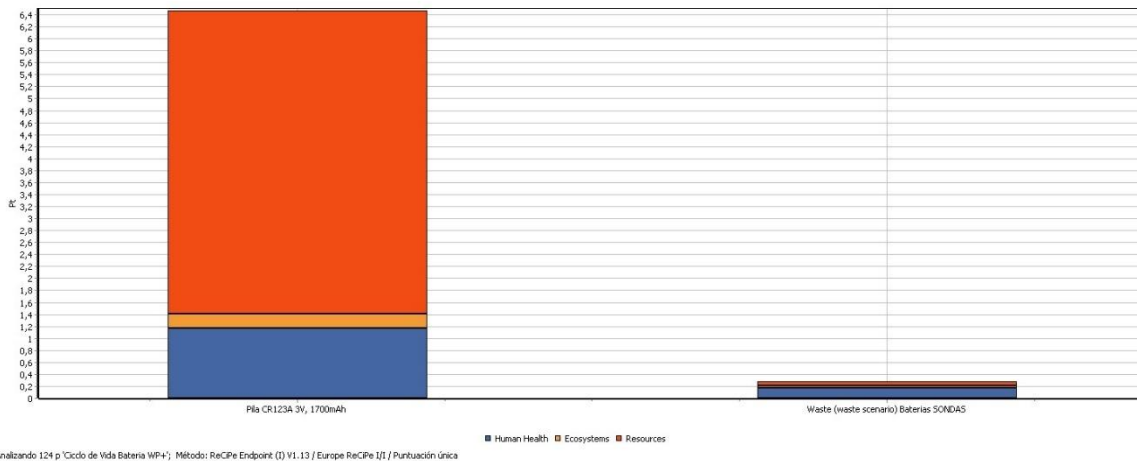


Figura 69. Gráfica puntuación única etapa de uso y mantenimiento sonda WProbe+.

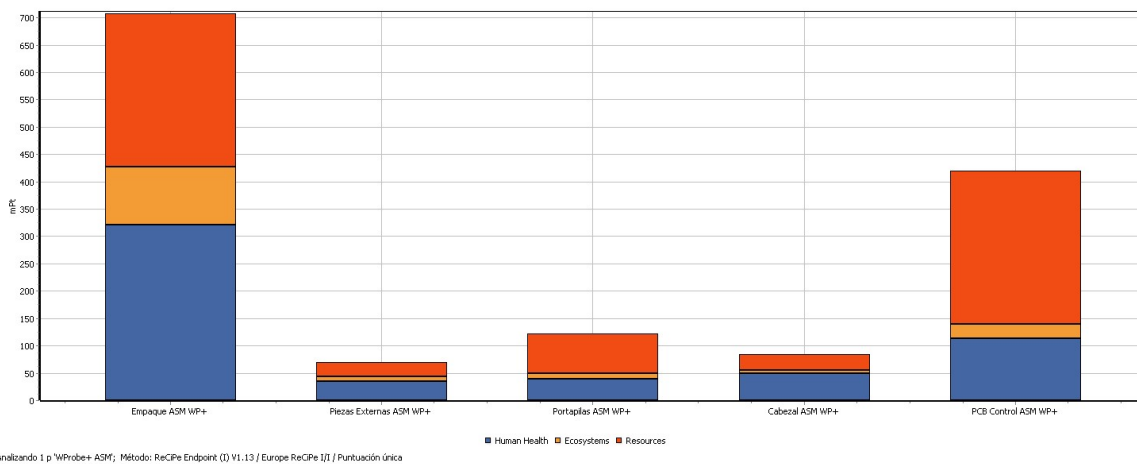


Figura 70. Gráfica puntuación única etapa de fabricación sonda WProbe+.

Impacto etapa de fabricación de WProbe+		
Montaje	[%]	[Pt]
Empaque ASM WP+	50,45%	0,71
Piezas Externas ASM WP+	4,98%	0,07
Portapilas ASM WP+	8,66%	0,12
Cabezal ASM WP+	5,98%	0,08
PCB Control ASM WP+	29,93%	0,42
Total, impacto=	100,00%	1,40

Tabla 16. Impacto etapa de fabricación sonda WProbe+.

El grupo de montaje Empaque ASM WP+, genera un impacto de 0,71Pt sobre el total del ciclo de vida de la sonda, es decir el 8,28% del total de impacto producido por la sonda en todo su ciclo de vida. Teniendo en cuenta esto, en el gráfico de árbol generado por SimaPro (ver Figura 71), se evidencia que la pieza que más influye en la generación de impacto es el Maletín de transporte STA en un 72,9% (0,516Pt), y el factor que más incidencia influye son los materiales con el que es fabricado en un 37% (0,262Pt) para el propileno, 11,6% (0,082Pt) para la resina de poliéster y 6,27% (0,044Pt) para el nailon, y también el proceso de fabricación de moldeo por inyección ejerce un 16,6% (0,118 Pt), siendo esta pieza la que más impacte sobre el ciclo de vida de la sonda.

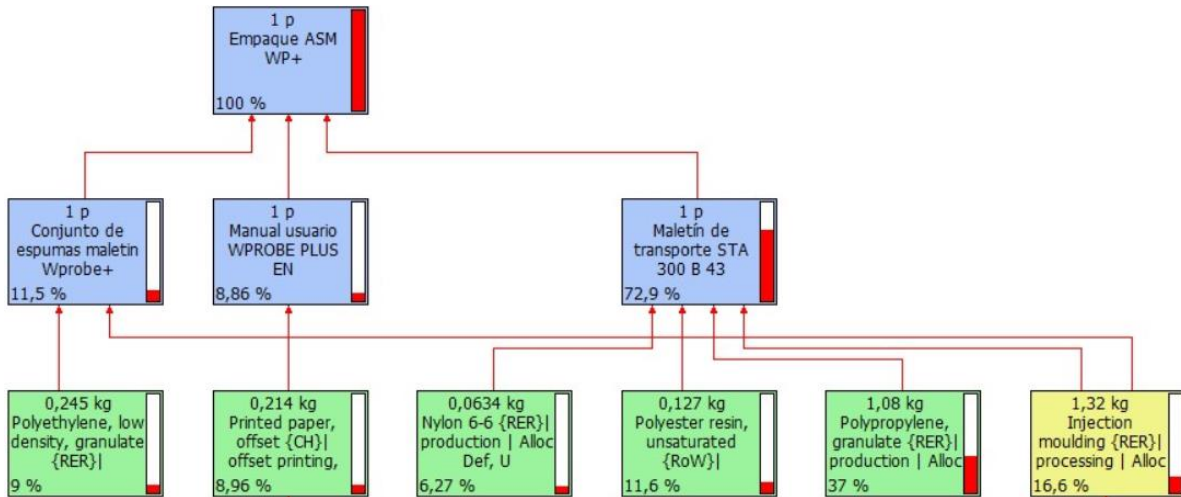
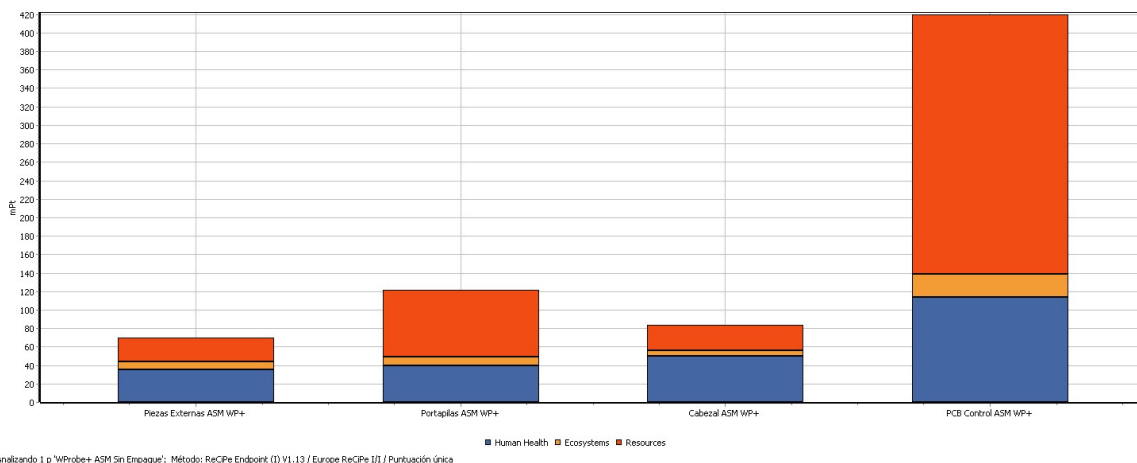


Figura 71. Gráfica Árbol del grupo de montaje Empaque ASM WP de sonda WProbe+.

El Maletín de transporte STA, a pesar que es muy importante para la protección y almacenamiento de la sonda, no es desarrollado directamente por la empresa Oncovision, es decir, la pieza es seleccionada por la empresa y suministrada por un proveedor externo y puede ser cambiado en cualquier momento, sin alterar el funcionamiento de la sonda WProbe+. Por tal motivo, se procede a realizar la interpretación de la fabricación de la sonda sin el grupo de montaje Empaque ASM WP+, y así evidenciar que grupo de montaje desarrollado y fabricado por la empresa es el que más afecta en la etapa de fabricación de la sonda gamma WProbe.

En la Figura 72, se puede evidenciar la gráfica de puntuación única de la etapa de fabricación sin tener en cuenta el grupo de montaje Empaque ASM WP+. En ella, se puede observar que el grupo de piezas que más afecta a la fabricación de la sonda es el PCB Control ASM WP+ con un 60,41% (419,71mPt), seguido del Portapilas ASM WP+ con un 17,48% (121,45mPt), el grupo de Cabezal ASM WP+ con un 12,06% (83,82,30mPt) y finalmente el grupo Piezas Externas ASM WP+ 10,04% (69,79mPt), para un total de impacto de 694,77mPt sobre el ciclo de vida la sonda (ver Tabla 17).



Analizando 1 p 'WProbe+ ASM Sin Empaque'; Método: ReCPE Endpoint (1) V1.13 / Europe ReCPE (1) / Puntuación Única

Figura 72. Gráfica puntuación única etapa de fabricación sin empaque de sonda WProbe+.

Impacto etapa de fabricación sin empaque de WProbe+		
Montaje	[%]	[mPt]
Piezas Externas ASM WP+	10,04%	69,79
Portapilas ASM WP+	17,48%	121,45
Cabezal ASM WP+	12,06%	83,82
PCB Control ASM WP+	60,41%	419,71
Total, impacto=	100,00%	694,77

Tabla 17. Impacto etapa de fabricación sin empaque de sonda WProbe+.

En la gráfica árbol de la etapa fabricación sin el grupo de montaje Empaque ASM WP+ (ver Figura 73), se puede observar que la pieza que más genera impacto en esta etapa del ciclo de vida de la sonda es la Placa de control WProbe+ con un 50,6% (352 [mPt]) la cual pertenece al grupo de montaje PCB Control ASM WP+, sobre el 100% de la etapa de fabricación sin el grupo de montaje empaque.

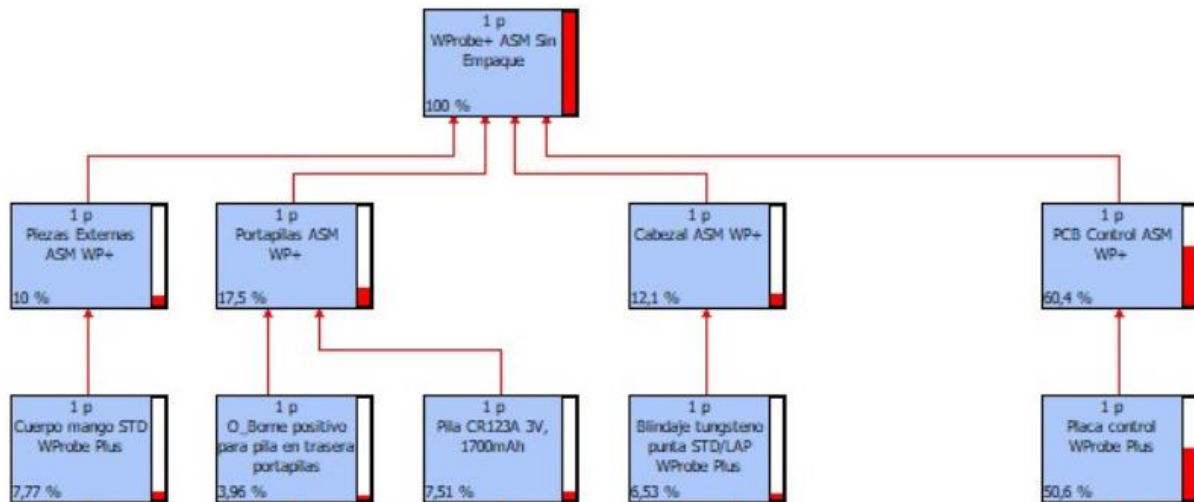


Figura 73. Gráfica Árbol de la etapa de fabricación sin el montaje Empaque ASM WP+.

En el anexo C, se encuentran las gráficas de puntuación única de los grupos de montaje restantes que tienen muy poca repercusión sobre el impacto global.

6.4.3 Comparación impactos ambientales de las sondas gamma WProbe y WProbe+

6.4.3.1 Caracterización comparativa de las sondas gamma

A continuación, se comparan los resultados obtenidos de las gráficas de caracterización de la sonda WProbe y los resultados de la sonda WProbe+. En la Tabla 18, se pueden evidenciar en resumen que la etapa del ciclo de vida que más repercute sobre cada una de las categorías es la de uso y mantenimiento (Ciclo de Vida de Batería) para las dos sondas.

En la comparación se puede evidenciar que hay un aumento de impacto sobre las categorías en la etapa uso y mantenimiento (Ciclo de Vida Batería WP+) para la sonda WProbe+. Para la etapa de fabricación (WProbe ASM y WProbe+ ASM), se evidencia que en la sonda WProbe+ impacta sobre 3 categorías en relación a las 8 categorías que se impactaban con la sonda WProbe. También se puede evidenciar que en la categoría de transformación natural del suelo la etapa que más produce impacto es la de transporte (Transport) para la sonda WProbe+.

Ítem	Categorías de Impacto	Etapa Ciclo de Vida	
		WProbe	WProbe +
1	Cambio climático en la salud humana	Ciclo de Vida Batería WP	Ciclo de Vida Batería WP+
2	Agotamiento de la capa de ozono	Ciclo de Vida Batería WP	WProbe+ ASM
3	Toxicidad en humanos	WProbe ASM	Ciclo de Vida Batería WP+
4	Formación fotoquímica de oxidantes	Ciclo de Vida Batería WP	Ciclo de Vida Batería WP+
5	Formación de material particulado	Ciclo de Vida Batería WP	Ciclo de Vida Batería WP+
6	Radiación ionizante	Ciclo de Vida Batería WP	Ciclo de Vida Batería WP+
7	Cambio climático en los Ecosistemas	Ciclo de Vida Batería WP	Ciclo de Vida Batería WP+
8	Acidificación terrestre	Ciclo de Vida Batería WP	Ciclo de Vida Batería WP+
9	Eutrofización de agua dulce	WProbe ASM	Ciclo de Vida Batería WP+
10	Ecotoxicidad terrestre	WProbe ASM	Ciclo de Vida Batería WP+
11	Ecotoxicidad del agua dulce	WProbe ASM	Ciclo de Vida Batería WP+
12	Ecotoxicidad marina	WProbe ASM	Ciclo de Vida Batería WP+
13	Ocupación de tierras agrícolas	WProbe ASM	WProbe+ ASM
14	Ocupación del suelo urbano	WProbe ASM	Ciclo de Vida Batería WP+
15	Transformación natural del suelo	Ciclo de Vida Batería WP	Transport
16	Agotamiento del metal	WProbe ASM	Ciclo de Vida Batería WP+
17	Agotamiento de los fósiles	Ciclo de Vida Batería WP	WProbe+ ASM

Tabla 18. Comparación por etapas que más repercute sobre las categorías de impacto.

En la Figura 74, se evidencia en porcentaje la disminución de los efectos producidos por la sonda WProbe+ sobre las 17 categorías en comparación con la sonda WProbe. Se puede evidenciar que hay una reducción en el ciclo de vida de la sonda WProbe+ de un 85% en promedio sobre las siguientes categorías: cambio climático en la salud humana, agotamiento de la capa de ozono, formación fotoquímica de oxidantes, formación de material particulado, radiación ionizante, cambio climático en los ecosistemas, acidificación terrestre, transformación natural del suelo y agotamiento de los fósiles.

También se evidencia que en la categoría Agotamiento del Metal, la sonda WProbe+ genera un efecto mayor que la sonda WProbe por lo que se ve un aumento en dicha categoría, este aumento es generado por la etapa de uso y mantenimiento de la sonda WProbe+.

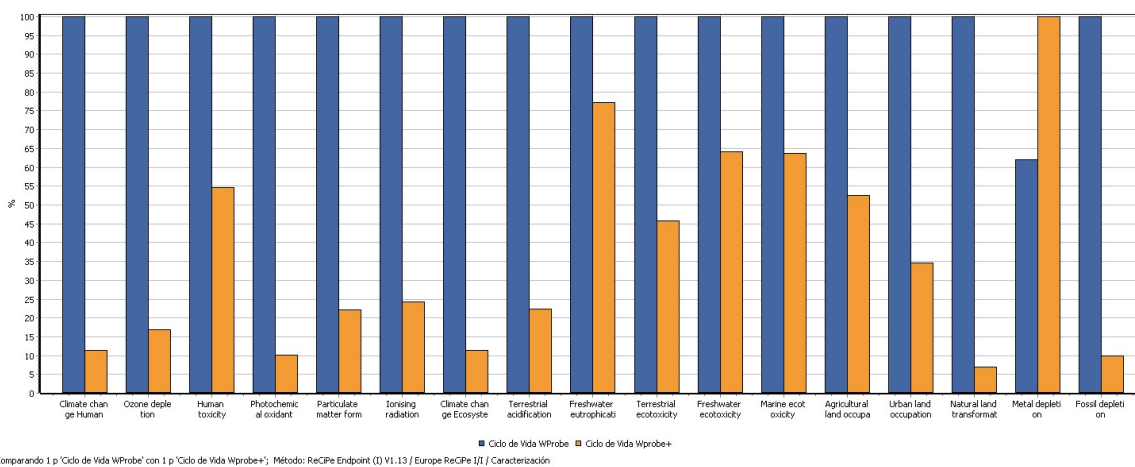


Figura 74. Gráfica de caracterización, comparación de los Ciclos de Vida de las sondas WProbe y WProbe+.

Para la etapa Fin de Vida (Waste) se evidencia que hay una repercusión positiva sobre diferentes categorías en las dos sondas analizadas. En la Tabla 19, se puede observar que las etapas marcadas con una "X" han sido impactadas positivamente por esta etapa del ciclo de vida. También se puede observar que hay un aumento de 8 a 12 categorías que se impactan positivamente en la gestión de las sondas a retirar.

COMPARACIÓN IMPACTO POSITIVO GENERADO POR LA ETAPA FIN DE VIDA SOBRE LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO			
ítem	Categorías de Impacto	Etapa Fin de Vida	
		WProbe	WProbe +
1	Cambio climático en la salud humana		X
2	Agotamiento de la capa de ozono		
3	Toxicidad en humanos		X
4	Formación fotoquímica de oxidantes	X	X
5	Formación de material particulado	X	X
6	Radiación ionizante	X	X
7	Cambio climático en los Ecosistemas		X
8	Acidificación terrestre	X	X
9	Eutrofización de agua dulce		
10	Ecotoxicidad terrestre		
11	Ecotoxicidad del agua dulce		
12	Ecotoxicidad marina		
13	Ocupación de tierras agrícolas	X	X
14	Ocupación del suelo urbano		X
15	Transformación natural del suelo	X	X
16	Agotamiento del metal	X	X
17	Agotamiento de los fósiles	X	X

Tabla 19. Comparación Impacto Positivo de la etapa Fin de Vida.

6.4.3.2 Puntuación única comparativa de las sondas gamma

En la Figura 75, se observa la gráfica de puntuación única de la comparación de los ciclos de vida de las sondas WProbe y WProbe+. En ella se evidencia una reducción del impacto total de la sonda WProbe+ de un 75% (22,25Pt) en comparación con la sonda WProbe, es decir la sonda WProbe impacta un 30,82Pt y la sonda WProbe+ 8,57Pt.

En la comparación de impactos ambientales de los ciclos de vida de las sondas gamma (ver Tabla 20), también se puede evidenciar los cambios en la generación del impacto ambiental por etapas para cada sonda. Para la etapa de fabricación se evidencia una disminución de 7,22%, en la etapa de transporte un aumento del 2,7%, para la etapa de fin de vida se genera un impacto positivo del -3,30% y finalmente, en la etapa de uso y mantenimiento hay un aumento de un 7,9% de la sonda WProbe+ con respecto a la sonda WProbe comparando las mismas etapas del ciclo de vida de ambas sondas.

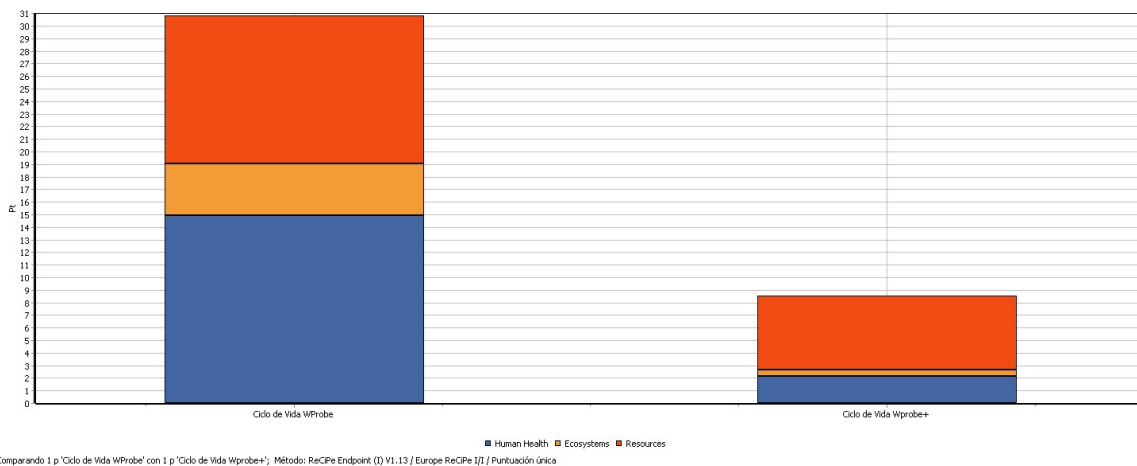


Figura 75. Gráfico puntuación única, comparación de los Ciclos de Vida de las sondas WProbe y WProbe+.

Comparación de impactos ambientales por etapas del ciclo de vida sondas WProbe y WProbe+							
Ítem	Etapas	WProbe			WProbe+		
			[%]	[Pt]		[%]	[Pt]
1	Fabricación	WProbe ASM	23,57%	7,26	WProbe+ ASM	16,35%	1,40
2	Transporte	Transport	5,62%	1,73	Transport	8,32%	0,71
3	Fin de Vida	Waste	0,04%	0,01	Waste	-3,34%	-0,29
4	Uso y Mantenimiento	Ciclo de Vida Bateria WP	70,77%	21,81	Ciclo de Vida Bateria WP+	78,67%	6,75
	Total, impacto=			30,82			8,57

Tabla 20. Comparación de impactos ambientales por etapas del ciclo de vida de las sondas WProbe y WProbe+.

- Análisis de la etapa de uso y mantenimiento:

Para la sonda WProbe, se evidencia que el factor que más influye en la generación del impacto de esta etapa del ciclo de vida es el transporte con un 95,35% (20,79Pt), la batería 4,46% (0,97Pt) y el fin de vida con un 0,19% (0,41Pt) del 70,77% que genera esta etapa del ciclo de vida de la sonda. En la sonda WProbe+, el factor que más influye sobre la generación de dicho impacto es la batería con un 96% (6,46Pt) y el fin de vida de la batería en un 4% (0,27Pt) del 78,67% que genera esta etapa del ciclo de vida de la sonda.

Evidenciando lo anteriormente explicado, se hace notorio la reducción de 20,79Pt de impacto generado por el transporte de la sonda en la etapa de uso y mantenimiento, ya que en la nueva sonda el cambio de la batería es realizado por el cliente in situ y no debe de ser transportada hasta el punto de fábrica.

A pesar de esto, la nueva sonda genera un impacto ahora mayor sobre el uso de las baterías, ya que pasa de 0,97Pt en la sonda WProbe a 6,46Pt para la sonda WProbe+. Esto se debe a los 124 cambios de baterías a realizar en la nueva sonda WProbe+ con respecto a los 6 cambios de la sonda WProbe, con el fin de satisfacer la unidad funcional establecida en el presente análisis.

- Análisis de la etapa de fabricación:

Para la etapa de fabricación de la sonda se realizaron cinco grupos de montaje en los que se agrupan piezas de la sonda que tienen funciones parecidas para el funcionamiento de la sonda. En la comparación de las sondas se evidencia una disminución de 5.86Pt de impacto sobre el ciclo de vida de la sonda (ver Tabla 21).

El primer grupo de montaje para ambas sondas es el que más genera impacto ambiental, este grupo tiene como principal función almacenar la sonda en condiciones seguras para ser transportada. En la sonda WProbe se genera un impacto de 78,32% (5,69Pt) y en la sonda WProbe+ 50,45% (0,71Pt) con respecto a la etapa de fabricación, evidenciándose una disminución de 87,52% (4,98Pt) en la generación de impacto.

En el grupo de montaje de piezas externas presenta una reducción del 76,67% (0,23Pt), para el grupo de portapilas un 74,47% (0,35Pt), en el grupo de punta un 46,67% (0,07Pt) y finalmente en el grupo de control un 35,38% (0,23Pt).

Comparación de impactos ambientales etapa de fabricación del ciclo de vida sondas WProbe y WProbe+							
ítem		WProbe			WProbe+		
			[%]	[Pt]		[%]	[Pt]
1	Grupo de Montaje	Empaque ASM WP	78,32%	5,69	Empaque ASM WP+	50,45%	0,71
2		Piezas Externas ASM WP	4,20%	0,3	Piezas Externas ASM WP+	4,98%	0,07
3		Portapilas ASM WP	6,46%	0,47	Portapilas ASM WP+	8,66%	0,12
4		Punta ASM WP	2,05%	0,15	Cabezal ASM WP+	5,98%	0,08
5		Rack Control ASM WP	8,97%	0,65	PCB Control ASM WP+	29,93%	0,42
Total, impacto=				7,26			1,40

Tabla 21. Comparación de impactos ambientales etapa de fabricación del ciclo de vida sondas WProbe y WProbe+.

6.5 Propuestas de mejora

Las propuestas de mejora presentadas se basan en los resultados obtenidos en el presente análisis con el fin de encontrar alternativas que permitan generar un menor impacto ambiental en el ciclo de vida de la sonda gamma WProbe+.

6.5.1 Optimización de batería

En la etapa de uso y mantenimiento se evidencia el mayor impacto ambiental producido por las sondas gamma. Este impacto se puede seguir reduciendo o minimizando si se consigue aumentar la cantidad de ciclos de uso de la batería de la sonda WProbe+. Para esto el grupo de I+D+i de la empresa Oncovision tiene que continuar investigando y trabajando en la optimización del consumo de energía de la sonda, o realizando pruebas de consumo de energía con baterías del mercado que ofrezcan una mayor cantidad de ciclos de uso, y así reducir tanto en unidades de baterías utilizadas como en el impacto que estas generan sobre el ciclo de vida de la sonda.

6.5.2 Alternativas en el empaque

Una de las piezas que más genera impacto sobre el ciclo de vida de la sonda es el maletín que pertenece al grupo de montaje de empaque de la etapa de fabricación, el cual se encarga de la protección, embalaje y almacenamiento de las sondas para su posterior transporte. Se plantea dos opciones:

- Desarrollar nuevas opciones de embalaje con materiales que generen menor impacto ambiental y que a su vez sean compatibles con las condiciones médicas necesarias.
- Generar rediseños de la distribución de las piezas dentro del maletín de tal forma que tenga el tamaño y peso mínimo requerido para que satisfaga las necesidades del equipo.



6.5.3 Análisis en placas electrónicas

En el análisis del ciclo de vida de las sondas gamma, en la fabricación de la sonda se puede evidenciar que las placas electrónicas pertenecientes al grupo de montaje de control ejercen un impacto ambiental considerable. Este análisis ha sido realizado en el software SimaPro y se ha recurrido a la información de las placas electrónicas proporcionadas por la base de datos. Si se dispusiese de la información real de la composición de las placas se podrían conocer con más detalle los impactos ambientales generados en la fabricación de las mismas, esto con el fin de tener en cuenta cuál de los factores como forma, tamaño y componentes inciden más en la generación del impacto.

7. PRESUPUESTO

Para el desarrollo del presente trabajo fin de master se ha realizado una estimación del costo real del trabajo realizado dividiendo en dos partidas; costes de recursos humanos y coste de recursos materiales (ver Tabla 22). El coste total del trabajo tiene un valor de **€15.502,70**.

PRESUPUESTO TFM ACV COMPARATIVO SONDAS GAMMA WPROBE Y WPROBE+					
Recursos Humanos					
Recurso	Cantidad (Personas)	Horas de dedicación (Hora/Persona)	Remuneración (€/hora)	Coste (€)	
Alumno	1	300	40	12.000,00 €	
Director	2	20	60	2.400,00 €	
Asesor Empresa	1	20	50	1.000,00 €	
<i>Total, Coste de Recursos Humanos=</i>				15.400,00 €	
Recursos Materiales					
Recurso	Precio (€)	Tiempo de amortización (Día)	Tiempo de uso en el trabajo (Día)	Cantidad	Coste (€)
Portátil MSI	1150	1825	12,5	1	7,88 €
Licencia Windows	150	1825	12,5	1	1,03 €
Licencia Office 2016	50	1825	12,5	1	0,34 €
Licencia SimaPro	1330	154,16	8	20	3,45 €
Transporte	0,9	-	-	50	45,00 €
Documentos impresos	0,25	-	-	180	45,00 €
Otros Costes (energía, oficina, etc)	2	-	12,5	1	25,00 €
<i>Total, Coste de Recursos Materiales=</i>				102,70 €	
Presupuesto Global					
<i>Total, Coste TFM=</i>				15.502,70 €	

Tabla 22. Presupuesto global TFM ACV de sondas gamma WProbe y WProbe+.

8. CONCLUSIONES

La realización de un análisis de ciclo de vida requiere de muchos recursos en cuanto a la recopilación de datos e información, para el desarrollo del presente trabajo se tuvieron en cuenta fuentes primarias y secundarias con el fin de obtener información verídica acerca de las sondas. Al realizar el desmontaje de las sondas se logró identificar 56 piezas de la sonda WProbe y 40 piezas de la sonda WProbe+ con sus respectivos materiales, procesos de fabricación y distancias de recorrido de las piezas, siendo esta información necesaria para la primera fase obtención de materias primas y fabricación del ciclo de vida de las sondas gamma.

En la fase de distribución y transporte del ciclo de vida de las sondas, se estableció un escenario de transporte en el que por medio de una suma ponderada de las distancias recorridas por las sondas vendidas se obtiene una distancia para la sonda WProbe de 3386,56Km y para la sonda WProbe+ de 3776,09Km.

Para la fase de uso y mantenimiento se tuvo en cuenta la información proporcionada en el manual del usuario de las sondas y consultas realizadas a clientes de la empresa, con esta información se planteó el escenario de uso y mantenimiento que cumpliera con la unidad funcional establecida del presente análisis. Para el funcionamiento de la sonda WProbe se establece el uso de 7 baterías y para la sonda WProbe+ 125 baterías al largo del tiempo de vida útil de las sondas.

El fin de vida del equipo es realizado por la empresa fabricante, quien realiza la gestión de los residuos peligrosos y no peligrosos para el medio ambiente tal como se lo indica el artículo 10 de la Directiva 2012/19/CE del 8 de diciembre de 2003. El escenario creado para esta fase del ciclo de vida se estableció mediante la base de datos Eurostat del año 2016 para España, el cual indica que se recicla el 42,57% y se elimina el 57,25% de los residuos generados en el país.

Con las fases del ciclo de vida de las sondas gamma establecidas, se aplicó la metodología de Análisis del Ciclo de Vida enmarcada bajo las normas UNE-EN ISO 14.040:2006 y UNE-EN ISO 14.044:2006, siguiendo todos los apartados necesarios para el buen desarrollo del ACV, esto con la ayuda de la herramienta SimaPro y la base de datos de Ecoinvent, obteniéndose como resultado el valor total del impacto ambiental generado por la sonda WProbe de 30,82Pt y de la sonda WProbe+ 8,57Pt.

En la interpretación y comparación de los resultados se encontró una reducción en el impacto ambiental generado por la sonda WProbe+ del 75% (22,25Pt) en comparación con la sonda WProbe. También se encontró que a pesar que en la etapa de uso y mantenimiento ya no se genera impacto por el transporte de la sonda, el cambio de las 124 baterías en la sonda WProbe+ genera un efecto mayor sobre las categorías de impacto ambiental a lo largo de la vida útil de la sonda.

Finalmente, con la comparación realizada de las sondas gamma se establece que el impacto ambiental del nuevo diseño de la sonda WProbe+ es menor que la sonda WProbe y se establecen tres estrategias de mejora en el diseño de la nueva versión de la sonda gamma en el que se debe de tener en cuenta la optimización de la batería, alternativas en el empaque y finalmente generar un ACV específico sobre las placas electrónicas utilizadas en la sonda.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO 14.040:2006, *Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)*, AENOR. Madrid, 2006.
- [2] P. J. Tanis, O. E. Nieweg, R. A. Valdés Olmos, E. J. T. Rutgers, and B. B. R. Kroon, "History of sentinel node and validation of the technique," *Breast Cancer Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 109–112, 2001.
- [3] F. Pons Pons and S. Vidal Sicart, "NUEVAS APLICACIONES DE LA CIRUGÍA RADIOGUIADA EN LOS TUMORES GINECOLÓGICOS," UNIVERSIDAD DE BARCELONA, 2007.
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Human Health Campus - Gamma Probe," *Gamma Probe*, 2016. [Online]. Available: https://humanhealth.iaea.org/HHW/Technologists/NuclearMedicineTech/Educationalresources/NuclearMedicinePhysicsforNMT/Equipment/Gamma_Probe/index.html. [Accessed: 01-Jul-2019].
- [5] IHOBE, "Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales: Miniguía del taller," 2009.
- [6] IHOBE, *Manual de Ecodiseño en 7 pasos*, IHOBE, S.A. Vasco, 2000.
- [7] J. C. Aurich, C. Fuchs, and C. Wagenknecht, "Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems," vol. 14, pp. 1480–1494, 2006.
- [8] E. Commission, "Communication from the Commission to the Council on Telecommunications," *Lines of Action*, 1983.
- [9] S. Svensson, "Feasibility of Lifecycle Assessment for Complex Medical devices," p. 62, 2017.
- [10] ISO 14.044:2006, *Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Requisitos y directrices (ISO 14044:2006)*, AENOR. Madrid, 2006.
- [11] Lavola, "Simapro," 2018. [Online]. Available: <https://www.lavola.com/es/simapro/>. [Accessed: 07-Jul-2019].
- [12] Quantifying Sustainability, "ReCiPe | PRé Sustainability," 2019. [Online]. Available: <https://www.pre-sustainability.com/recipe>. [Accessed: 07-Jul-2019].
- [13] MINISTERIO DE AGRICULTURA ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, "Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos," *Bol. Of. del Estado*, no. 8508, p. 1, 2015.
- [14] R. Hernández Sampieri, C. Fernandes Collado, and M. Baptista Lucio, *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*, Sexta Edic. México D.F., 2014.
- [15] M. M. Khasreen, P. F. G. Banfill, and G. F. Menzies, "Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review," *Sustainability*, vol. 1, no. 3, pp. 674–701, 2009.
- [16] P. Nuss and M. J. Eckelman, "Life cycle assessment of metals: A scientific synthesis," *PLoS One*, vol. 9, no. 7, pp. 1–12, 2014.
- [17] C. Camacho López, J. F. Martí Vidal, M. Falgás Lacueva, and C. Olivas Arroyo, "Two commercial intraoperative gamma probes response to different measurement conditions : comparative analysis," *Rev. Física Médica*, vol. 12, no. 1, pp. 17–28, 2011.
- [18] J. Cays, "Life-cycle assessm," *Archit. Des.*, vol. 87, no. 3, pp. 96–103, 2017.
- [19] E. A. Cortasa, "Análisis y comparativa del ciclo de vida de diferentes soluciones constructivas,"



2017.

- [20] A. Del, C. D. E. Vida, C. D. E. Una, F. Alberto, and P. Gutiérrez, “Mermelada De Naranja Ecológica Y No Ecológica ”.,” 2013.
- [21] L. Flores, J. García, R. Pena, and M. Garfí, “Constructed wetlands for winery wastewater treatment: A comparative Life Cycle Assessment,” *Sci. Total Environ.*, vol. 659, pp. 1567–1576, 2019.
- [22] D. Landi, A. Consolini, M. Germani, and C. Favi, “Comparative life cycle assessment of electric and gas ovens in the Italian context: An environmental and technical evaluation,” *J. Clean. Prod.*, vol. 221, pp. 189–201, 2019.
- [23] S. H. Moreno, “Revista Electrónica Nova Scientia Análisis comparativo por ciclo de vida de tres tipos de luminarias empleadas en los interiores de edificios Comparative life cycle analysis of three types of indoor luminaries used in buildings,” 2015.
- [24] Mr. Antonis POLITIS (LabMet NTUA), I. P. (NTUA), and M. T. (NTUA), “Management of wastes from primary resource processing : identification , environmental evaluations,” no. 688993, 2020.
- [25] O. Permanyer Martínez, “Situación e Impacto de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) Caso de Estudio : los Ordenadores,” p. 57, 2013.
- [26] PRé, M. Goedkoop, M. Oele, J. Leijting, T. Ponsioen, and E. Meijer, “Introduction to LCA with SimaPro Colophon,” vol. 5.1, pp. 1–80, 2016.
- [27] C. Reads, “Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol : Una aproximación cualitativa,” no. March, 2015.
- [28] N. Rieznik and A. Hernández, “Análisis del ciclo de vida,” Capítulo 3. Metodol. Del Análisis Del Ciclo Vida, p. 37, 2005.
- [29] RIVM Committed to health and sustainability, “LCIA: the ReCiPe model | RIVM,” 2018. [Online]. Available: <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>. [Accessed: 08-Jul-2019].
- [30] M. Roca, “Comparativa de Análisis de Ciclo de Vida de dos tipos de puente de carretera: puente de hormigón y puente metálico,” p. 76, 2014.
- [31] A. M. Salazar, W. C. Miranda, S. C. Rizo, and N. D. P. Forestales, “Análisis de ciclo de vida en la fábrica de muebles La Cibeles , Jalisco , México , en procura de la Ecoeficiencia de procesos y productos industriales,” vol. 1, no. 1, pp. 87–106, 2009.
- [32] O. J. Sánchez, “Plant growth promoters View project GENOMIC SEQUENCING AND ASSEMBLY OF FOUR SPECIES OF MACROMICETAN FUNGUS OF BIOTECHNOLOGICAL IMPORTANCE View project,” 2007.
- [33] C. D. E. Vida, A. A. Una, and A. Doméstica, “Eléctrico Y Electrónico Durante Su,” 2013.
- [34] S. K. . Yu, K. M. . Ma, K. N. . Wong, J. . Leung, and L. C. . Leung, “Intraoperative gamma probe for sentinel node localisation: Evaluation study,” *J. Hong Kong Coll. Radiol.*, vol. 8, no. 1, pp. 40–48, 2005.

ANEXOS

ANEXO A

CAPTURA DE PANTALLA DEL INVENTARIO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS EN EL ACV DE LAS SONDAS GAMMA WPROBE Y WPROBE+

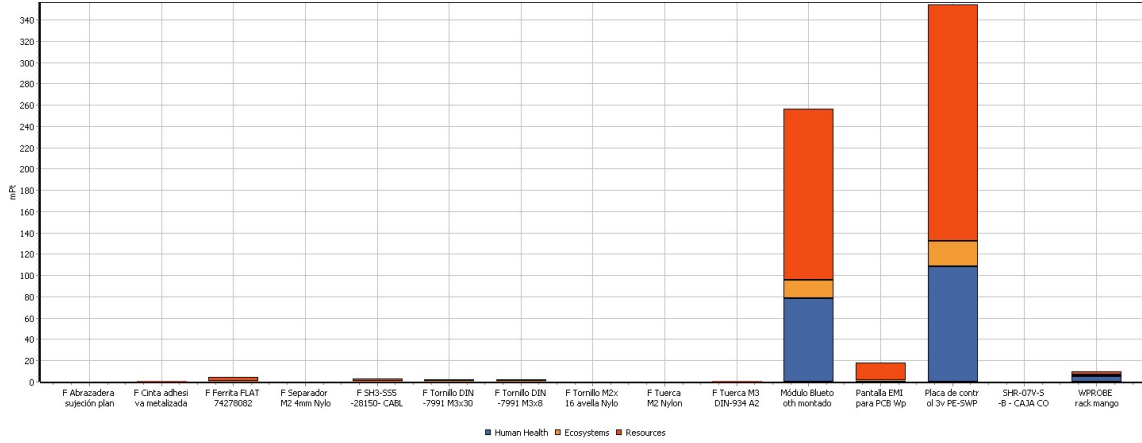
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	SimaPro 8.3.0.0	Inventario	Fecha:	15/07/2019	Período:	20:36				
2	Proyecto	TFM SONDAS GAMMA								
3										
4										
5	Calculation:	Analizar								
6	Results:	Inventario								
7	Product:	1 p Ciclo de Vida WProbe (of project TFM SONDAS GAMMA)								
8	Método:	ReCiPe Endpoint (I) V1.13 / Europe ReCiPe I/I								
9	Indicador:	Inventario								
10	Compartimento:	Todos los compartimentos								
11	Per sub-compartment:	No								
12	Default units:	No								
13	Excluir procesos de infraestructura:	No								
14	Excluir emisiones a largo plazo:	No								
15	Sorted on item:	Sustancia								
16	Sort order:	Ascendente								
17										
18	No	Sustancia	Compartiment	Unidad	Total	WProbe ASM	Transport, fre	Waste (waste)	Ciclo de Vida	Bateria WP
19		1 1-Butanol	Aire	µg	3,36528351	3,29761567	0,00350563	0,00272211	0,0614401	
20		2 1-Butanol	Agua	mg	1,82944174	1,5262929	0,02452814	-0,02902438	0,30764509	
21		3 1-Pentanol	Aire	ng	447,825006	398,458218	1,55916811	2,42462203	45,3829976	
22		4 1-Pentanol	Agua	µg	1,07478698	0,95630557	0,00374204	0,00581915	0,10892022	
23		5 1-Pentene	Aire	µg	1,77702478	1,58648245	0,0115817	-0,03565868	0,21461931	
24		6 1-Pentene	Agua	ng	812,196807	722,662409	2,82779997	4,39742764	82,3091703	
25		7 1-Propanol	Aire	g	12,8756716	12,8744328	5,4698E-05	3,6338E-06	0,00118039	
26		8 1-Propanol	Agua	µg	1,83691692	1,62623098	0,00808211	0,01150154	0,19110229	
27		9 1,4-Butanediol	Aire	µg	182,508551	181,7996	0,0360532	0,00312291	0,66977435	
28		10 1,4-Butanediol	Agua	µg	416,468318	415,434273	0,06417226	0,00581069	0,9640619	
29		11 2-Aminopropano	Aire	ng	378,090553	315,828467	1,82667681	2,73730827	57,6981017	
30		12 2-Aminopropano	Agua	ng	911,141004	761,11677	4,39825107	6,57680744	139,049176	

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	SimaPro 8.3.0.0	Inventario	Fecha:	15/07/2019	Período:	20:34				
2	Proyecto	TFM SONDAS GAMMA								
3										
4										
5	Calculation:	Analizar								
6	Results:	Inventario								
7	Product:	1 p Ciclo de Vida Wprobe+ (of project TFM SONDAS GAMMA)								
8	Método:	ReCiPe Endpoint (I) V1.13 / Europe ReCiPe I/I								
9	Indicador:	Inventario								
10	Compartimento:	Todos los compartimentos								
11	Per sub-compartment:	No								
12	Default units:	No								
13	Excluir procesos de infraestructura:	No								
14	Excluir emisiones a largo plazo:	No								
15	Sorted on item:	Sustancia								
16	Sort order:	Ascendente								
17										
18	No	Sustancia	Compartiment	Unidad	Total	WProbe+ ASI	Transport, fre	Waste (waste)	Ciclo de Vida	Bateria WP+
19		1 1-Butanol	Aire	ng	259,642391	128,201933	1,44279748	1,25157564	128,746085	
20		2 1-Butanol	Agua	mg	1,27852111	1,21839249	0,01009495	-0,03840504	0,08843871	
21		3 1-Pentanol	Aire	ng	512,025868	333,426321	0,64170108	0,69497062	177,262875	
22		4 1-Pentanol	Agua	µg	1,2288672	0,80022456	0,0015401	0,00166797	0,42543457	
23		5 1-Pentene	Aire	ng	819,289861	373,721805	4,76663775	-61,8785269	502,679945	
24		6 1-Pentene	Agua	ng	928,631042	604,713132	1,16382722	1,26047278	321,49361	
25		7 1-Propanol	Aire	mg	4,54760635	1,06476172	0,02251198	-0,02212161	3,48245426	
26		8 1-Propanol	Agua	µg	1,80722405	1,17317207	0,00332632	0,00524446	0,6254812	
27		9 1,4-Butanediol	Aire	µg	2,0478651	0,46786152	0,01483828	-0,01078906	1,57595436	
28		10 1,4-Butanediol	Agua	µg	2,16589377	0,87442869	0,02641114	-0,02419447	1,28924841	
29		11 2-Aminopropano	Aire	ng	327,117602	86,1929526	0,75179865	2,40011621	237,772734	
30		12 2-Aminopropano	Agua	ng	788,865707	297,888044	1,84047391	5,78280470	672,322898	

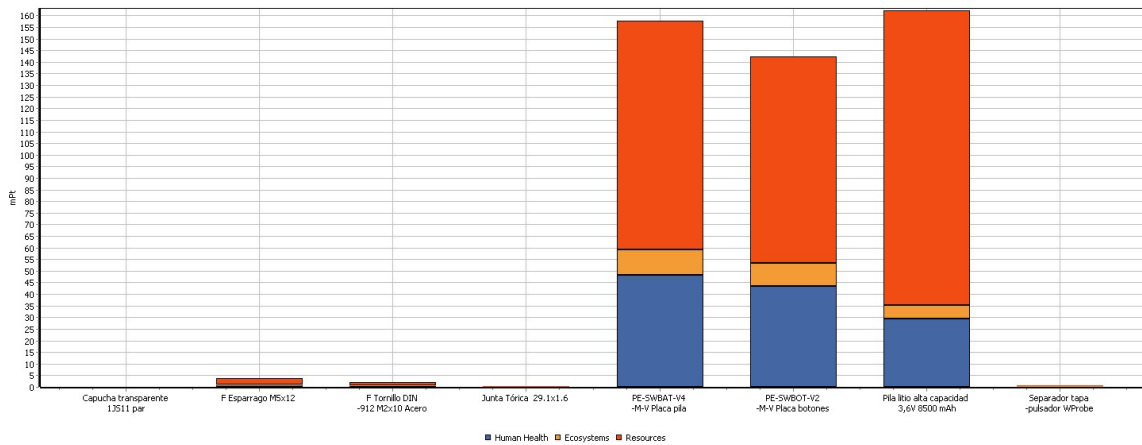
Nota: los inventarios generados contienen muchas líneas de cálculo por tal motivo se adjunta como un archivo digital.

ANEXO B

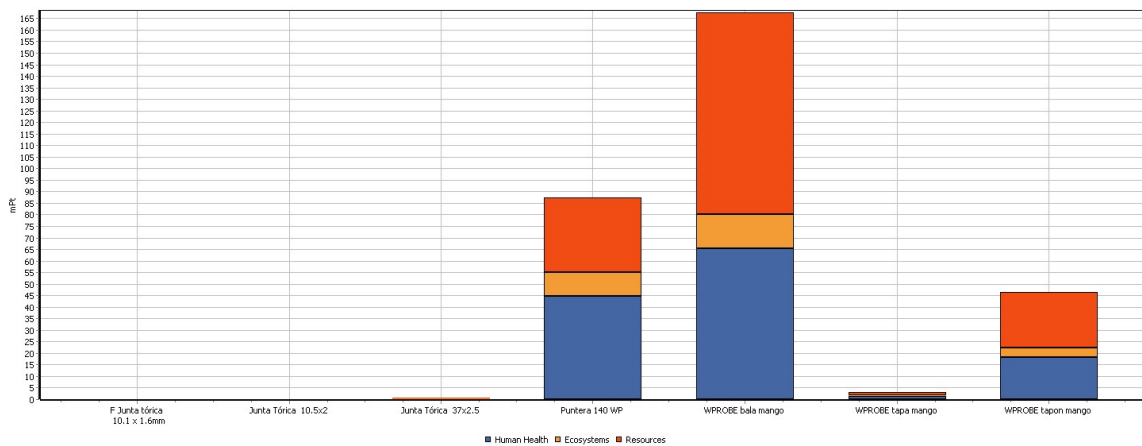
GRÁFICAS DE PUNTUACIÓN ÚNICA DE LOS GRUPOS DE MONTAJE EN LA ETAPA DE FABRICACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA SONDA WPROBE



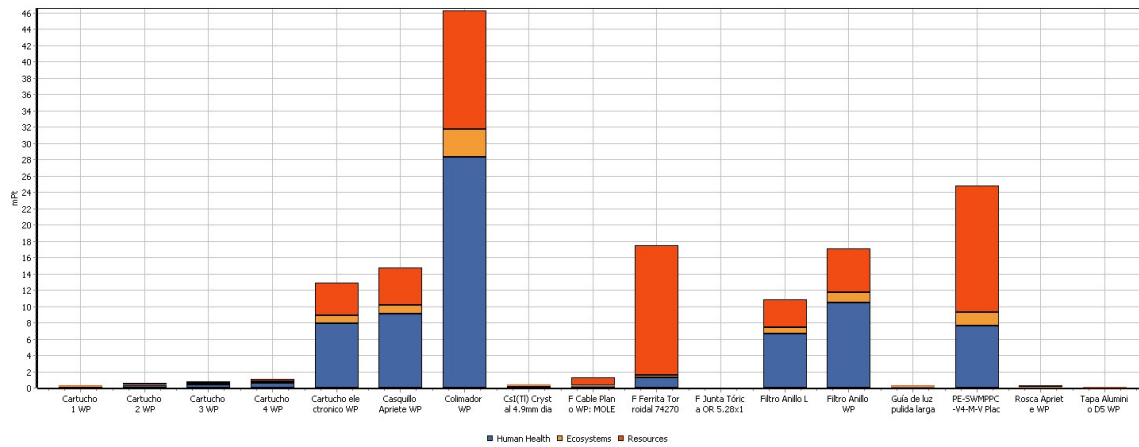
Analizando 1 p 'Rack Control ASM WP'; Método: ReCPe Endpoint (I) V1.13 / Europe ReCPe (I) / Puntuación única



Analizando 1 p 'Portapilas ASM WP'; Método: ReCPe Endpoint (I) V1.13 / Europe ReCPe (I) / Puntuación única



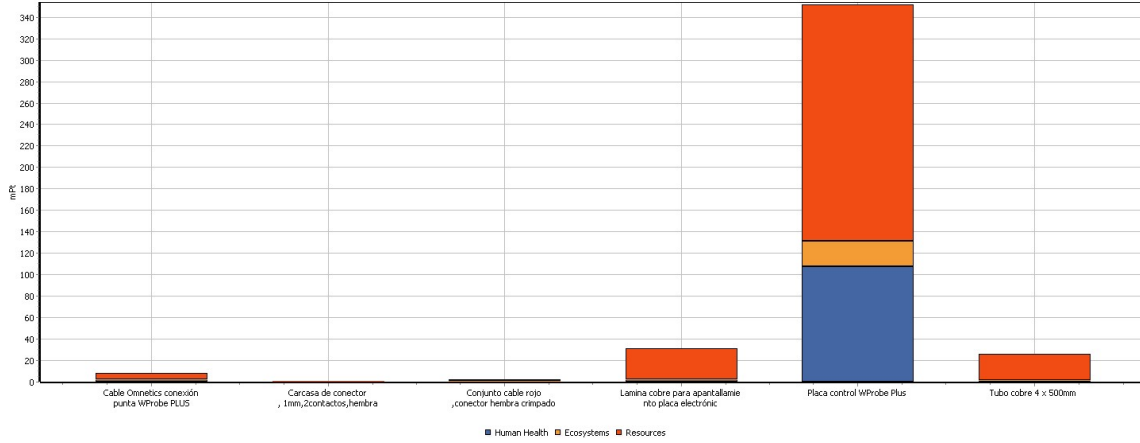
Analizando 1 p 'Piezas Externas ASM WP'; Método: ReCPe Endpoint (I) V1.13 / Europe ReCPe (I) / Puntuación única



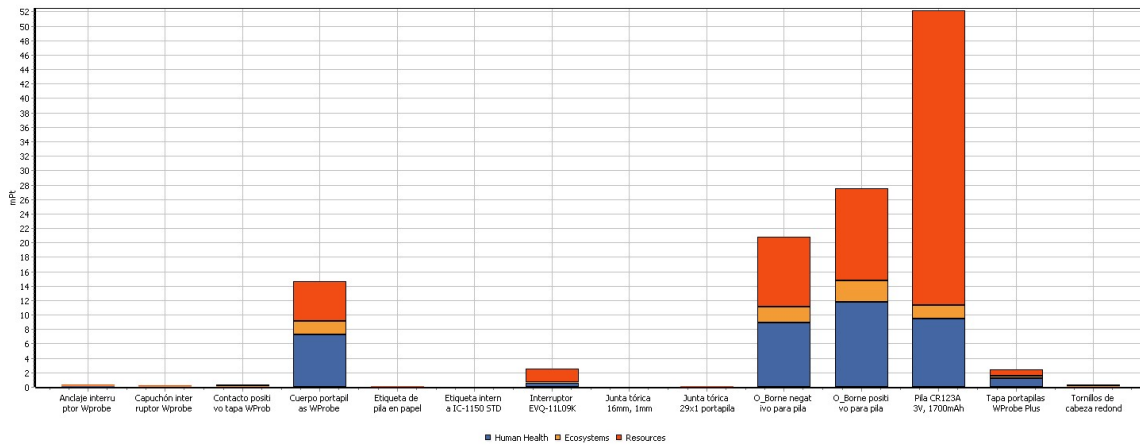
Analizando 1 p Punta ASM WP; Método: ReCPe Endpoint (1) V1.13 / Europe ReCPe 10 / Puntuación única

ANEXO C

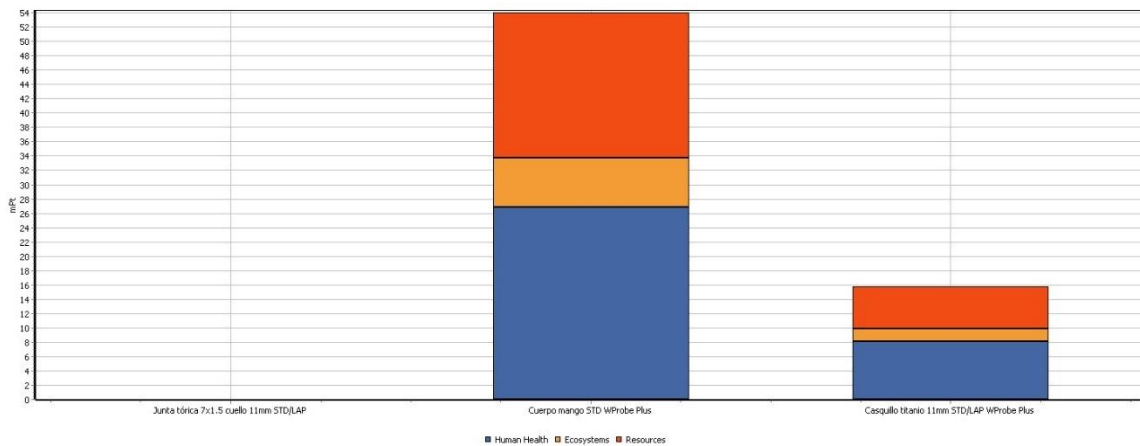
GRÁFICAS DE PUNTUACIÓN ÚNICA DE LOS GRUPOS DE MONTAJE EN LA ETAPA DE FABRICACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA Sonda WPROBE+



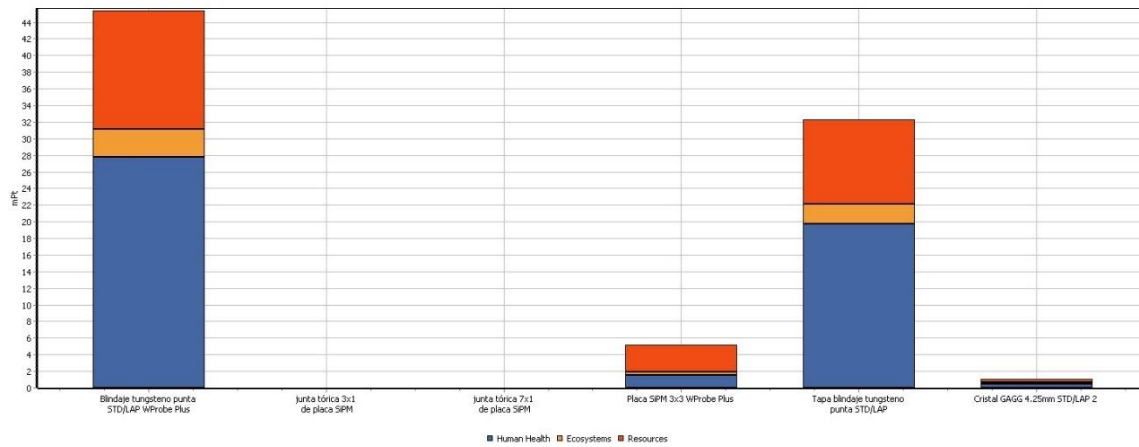
Análizando 1 p PCB Control ASM WProbe+; Método: ReCiPe Endpoint (I) V1.13 / Europe ReCiPe (I) / Puntuación única



Análizando 1 p Portapilas ASM WProbe+; Método: ReCiPe Endpoint (I) V1.13 / Europe ReCiPe (I) / Puntuación única



Análizando 1 p Plizas Externas ASM WProbe+; Método: ReCiPe Endpoint (I) V1.13 / Europe ReCiPe (I) / Puntuación única



Analizando 1 p\Cabezal ASM WP+; Método: ReCPe Endpoint (1) V1.13 / Europe ReCPe (1) / Puntuación Única