

# Diseño de una Plataforma de Mapas de Presión como Herramienta de Diagnóstico para la Prevención de Upp en Zona Sacra e Isquial.

J. Caro<sup>1</sup>, P. Alvarez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Esp(c).Ingeniero Electrónico, Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia.

<sup>2</sup> MS(c) Biomédica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos, Argentina.

**Resumen— Objetivo:** Diseñar una plataforma resistiva que permita identificar las zonas de máxima presión a nivel de la cadera, donde se forman úlceras por presión (Upp), a través de mapas de distribución de fuerzas como herramientas de soporte tecnológico para el diagnóstico y para la prevención de dicha patología. **Material y métodos:** Mediante el uso sensores resistivos y la instrumentación adecuada, se desarrolló una plataforma compuesta por 20 FSR's, desde donde se realiza la medición y análisis de distribución de fuerzas en 50 personas en posición sedente. Se distinguieron diferencias significativas en las zonas de mayor presión según el género y la morfología de la cadera de cada uno de los individuos, se hace necesario análisis de resultados por género. **Resultados:** Mediante análisis estadístico probabilidad se determinó las zonas con mayor influencia para la generación de úlceras, se generaron mapas que permiten establecer una base de conocimiento para sistemas de corrección de presión como solución futura en la prevención Upp. **Conclusión:** La generación de mapas a través de la instrumentación electrónica permite determinar la distribución de fuerzas a nivel de la cadera como herramienta importante en el diagnóstico temprano, la prevención y el estudio de la formación de Upp.

**Palabras clave—** Plataforma resistiva, Identificación de áreas de presión, Mapas de presión, Distribución de fuerzas, Cadera, Úlceras por presión.

## I. INTRODUCCIÓN

Un estudio reciente referente a las Upp realizado en la Facultad de Enfermería de la Universidad Nacional de Colombia muestra que las Úlceras por Presión aparecen en el 3% a 10% de los pacientes hospitalizados en un momento dado; de igual manera, muestra que la tasa de incidencia de desarrollo de una nueva úlcera por presión oscila entre 7,7% y 26,9%; que dos tercios de las úlceras que aparecen en hospitales ocurren en pacientes mayores de 70 años, sector creciente de nuestra población, por lo que se debe esperar un aumento de su incidencia en los próximos años; que ocurren también con mayor frecuencia en pacientes jóvenes lesionados medulares, entre los cuales la incidencia es del 5-8% anualmente y del 25-85% de ellos desarrolla una úlcera por presión alguna vez, la cual constituye la causa más frecuente de retraso en la rehabilitación de estos pacientes [1].

Durante la última década se han desarrollado algunos sistemas de análisis de presión y de distribución de fuerzas para el tratamiento médico de pacientes que padecen Upp; lo anterior, ha hecho viable el desarrollo de diversos sistemas para el cuidado de pacientes y personas que, por una u otra circunstancia, están condicionados a estar en una misma posición de reposo, durante un tiempo considerable; tal es el caso de pacientes parapléjicos o cuadripléjicos que están en condiciones de incapacidad total o temporal, causas indicadas por Cuervo, Fernando [2], quien señala que, el no mantener un nivel de movilidad adecuado, predispone a los pacientes a un mayor riesgo de desarrollo de la enfermedad [3].

El propósito principal de esta investigación es desarrollar una herramienta de diagnóstico para la generación de mapas de presión a nivel de la cadera y de esta forma determinar mediante la *Teoría de Elementos Finitos* las zonas en las que la presión del cuerpo en posición sedente incide de manera definitiva para la creación de Upp, este trabajo se desarrolló bajo el marco del proyecto denominado: “Diseño de la Instrumentación de Sensores y Actuadores Neumáticos Aplicados a la Determinación del Centro de Masa y Distribución de Fuerzas en Cojines de Uso Hospitalario” trabajado por J. Caro y J. Delgado en la Universidad Santo Tomás seccional Tunja.

Este sistema servirá como herramienta para los profesionales de la salud que estudian las Upp a la hora de generar diagnósticos tempranos en pacientes en los que la probabilidad de desarrollar la patología es alta, además es un soporte tecnológico que abrirá la visión del ámbito médico en cuanto al cuidado de pacientes para concebir una nueva cultura tecnológica como opción en la rehabilitación y prevención de las patologías ortopédicas y físicas, además de la generación de ideas futuras para la corrección de presiones altas a nivel de la cadera para pacientes que sean diagnosticados con alta probabilidad de creación de Upp y por qué no como elementos de corrección de malas posturas [4].

¿Herramientas existentes actualmente?: En la actualidad, no existen herramientas de tipo tecnológico que permitan la identificación de las zonas de presión alta en pacientes que se encuentren en estados de sedestación permanente, es así que las únicas herramientas existentes según lo indica el ministerio de la protección social “son protocolos de tratamiento y guías de valoración para la detección de desarrollo de úlceras por presión” [5]. De tal forma se puede determinar, que a pesar de que existen protocolos para la detección del desarrollo de úlceras por presión en personas que se encuentran en estado de inmovilidad prolongada, dentro de las que se destacan las escalas de Norton, Braden, Anell, Nova 5, Escala Emina y Escala de Waterlow como herramientas no tecnológicas de diagnóstico para la prevención como las define García Fernández en su trabajo, estas escalas se usan como “un instrumento que permite identificar a los pacientes con riesgo de desarrollar Upp” [6].

## II. METODOLOGÍA

Este proceso se desenvuelve dentro de un nivel metodológico de investigación de tipo descriptivo, ya que, se elabora el estudio del comportamiento de sensores, enfocado hacia una población - objeto de estudio- que permita determinar el comportamiento del sistema, con respecto a las diferentes variables y comportamientos físicos, en los cuales se caracterizarán los parámetros de distribución de fuerzas, mediante la instrumentación necesaria y óptima para el sistema.

### A. Diseño de la plataforma resistiva.

Se ha desarrollado una plataforma resistiva, que se diseñó a partir de la morfología anatómica propia de la cadera y la identificación de las principales zonas expuestas comúnmente a la creación de úlceras, como lo son la región isquial, los trocánteres y la zona coxígea identificadas como los puntos de mayor inflexión y de mayor impacto para la aparición de Upp como lo indican Riscanevo y Caro en su estudio [7].

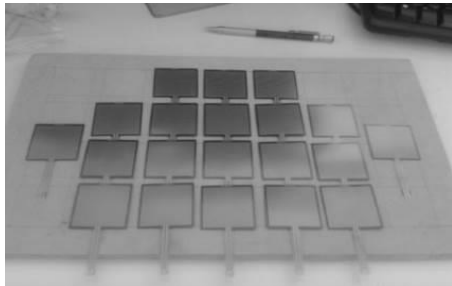


Fig. 1. Distribución de sensores resistivos.

A partir del desarrollo teórico de las Upp [8], se pudo inferir un primer diseño en una base de madera, partiendo de la distribución (Fig. 1) de la cadera al encontrarse un paciente en posición sedente, para la cual se hace una distribución de cada uno de los sensores, de forma que exista una mayor cobertura de los puntos y zonas expuestas a mayor presión.

Se realiza un rediseño de la plataforma (Fig. 2), donde se tuvo en cuenta diferentes factores y parámetros que influirían en la medición de los puntos de presión y la distribución de fuerzas del sistema, así como la determinación del centro de masa [9], para este caso se ubicaron los sensores sobre una base de acrílico que posee en mayor grado de flexibilidad, y podrá acomodarse de manera adecuada a los sistemas de valoración y recuperación en pacientes que son potencialmente portadores de escaras [10]. Cada uno de los sensores, se encuentran cableados de forma secuencial para cada fila de sensores, son de tipo piezo-resistivo (FSR), de referencia FSR400, con un tamaño de 40 mm x 40 mm, varía su resistencia dependiendo de la presión aplicada al área de sensado, a mayor fuerza, menor la resistencia. Este sensor puede medir fuerza aplicada en el rango de 100g a 10kg y es fabricado por Interlink Electronics.

La ubicación de los sensores en fila permite mayor facilidad de manejo y envío de datos e información a través de un bus de datos dispuesto para la posterior multiplexación de los datos entregados. Además, dicha plataforma cuenta con un recubrimiento aislante plástico que permite que el sistema se encuentre aislado de fluidos no deseados, de daños superficiales a los sensores y de un contacto directo con la fisonomía del paciente que podría provocar accidentes o resultados no esperados [11].

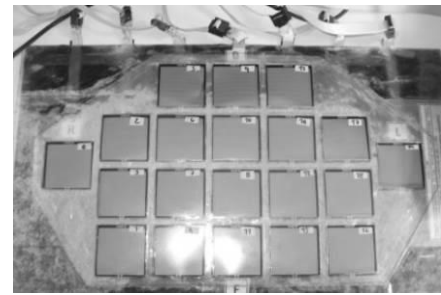


Fig. 2. Plataforma resistiva.

### B. Distribución de Fuerzas

El género es un factor distintivo en la distribución de fuerzas en la cadera de las personas, debido a la fisiología de cada uno de los mencionados; en donde se destacan diferencias marcadas donde en la pelvis masculina está adaptada para el apoyo de una estructura física más pesada y los músculos que son más fuertes, mientras la pelvis de la mujer se adapta para tener hijos en lugar de la fuerza física [12]. Las partes de la pelvis femenina describen el canal del parto y deben ser lo suficientemente amplias como para que el bebé pase a través durante el parto, referente a esto se decidió hacer una medición en dos grupos en el que el factor distintivo fue el género.

De esta manera se realizan pruebas con estudiantes de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, una población de 20 personas de cada género entre 17 y 27 años, con un somatotipo entre los 56 y 69 kilos de peso en promedio y una talla de 1.60 m a 1.75 m en promedio y teniendo en cuenta el mismo somatotipo mediante la plataforma de sensores resistivos desarrollada.

Se realiza la adquisición de datos tomando medidas de fuerza para personas en posición sedente como se muestra en la Fig. 3, no sin antes hacer la conversión adecuada de los kilogramos fuerza que se obtienen de cada sensor resistivo a la presión en mmHg (milímetros de mercurio) que es la variable de interés para el estudio de las Upp. Así se determina el mapa de presiones generado por el sistema para cada uno de los individuos, identificando las zonas de estudio para este prototipo que se dividen en óseas y musculares, donde en las primeras se destacan la zona sacra, trocánterea, coxígea e isquial y la segunda, el glúteo mayor y menor, el aductor mayor y el piriforme.

Con base a los datos encontrados en la población estudio se obtienen el mapa de referencia para cada género Fig. 4 y 5, hallado mediante el método de mínimos cuadrados al hacer el promedio del total de los mapas tomados, para cada género, donde el somatotipo está definido por la talla, el peso corporal y la edad. Para el caso de los hombres se tiene un promedio de talla de 1.75 m, un peso promedio de 69 Kg y un rango de edad de 17 a 27 años. Ahora para el caso de las mujeres se destaca un promedio de talla de 1.60 m, un promedio de peso corporal de 56 Kg y un rango de edad de 16 a 24 años.



Fig. 3. Generación de mapa de presiones para sujeto sano.

### III. RESULTADOS

En el estudio de cuidado de pacientes, la evaluación constante de la presión a nivel de la cadera al estar en sedestación por periodos prolongados de tiempo juega un papel importante al definirse de manera enfática la presión que se presenta entre los soportes para el cuidado de paciente [14], entiéndase silla o camilla, como la principal causa de generación de Upp, influenciando así a la búsqueda de soluciones que sean de ayuda en el diagnóstico como herramientas de apoyo para la prevención de las Upp.

Por tanto, los resultados de la investigación realizada mediante el sistema electrónico desarrollado para la generación de mapas de presión donde los recuadros más grandes representan los sensores dispuestos en la plataforma y los demás recuadros resultan de la evaluación de las zonas intermedias en las que no hay un sensor, pero que mediante aproximación aritmética de grupos de tres o cuatro de ellos, permiten determinar de manera completa y precisa las distribución de fuerzas en el mapa de presión al aumentar su resolución, resaltando como las zonas con presencia de presiones altas las prominencias óseas isquiáticas, al identificar que en dichas zonas resalta el color rojo, demostrando una alta probabilidad de isquemia (perdida de oxígeno del tejido) que aumentara con poco tiempo, definiendo un riesgo alto de generación de Upp en dichas zonas de impacto como las muestra el mapa (Fig. 4 y 5).

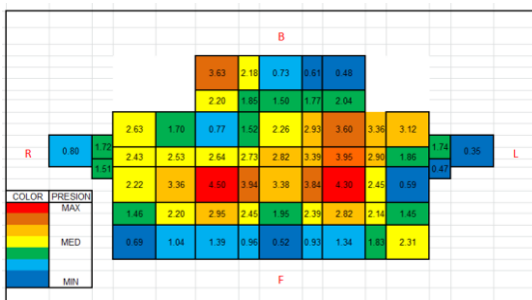


Fig. 4. Mapa de referencia para género masculino.

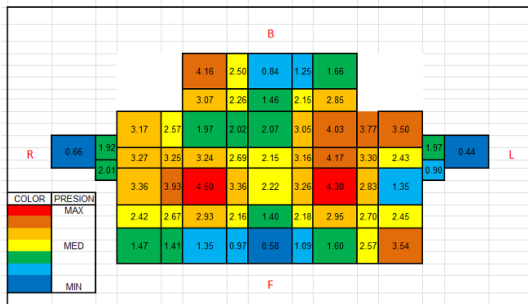


Fig. 5. Mapa de referencia para género femenino.

De las gráficas anteriores se puede describir la distribución de y colores mediante un vector resultante (Fig. 6) de las fuerzas aplicadas sobre la plataforma cuando se somete a prueba con las personas o individuos de estudio mediante la *Teoría de Elementos Finitos* que define mediante aproximación de ecuaciones el valor de presión de cada de recuadro del mapa, la magnitud y dirección de las fuerzas que se aplican a la plataforma y finalmente determina los colores en el mapa con respecto a la fuerza que se esté sensando, así para presiones altas (entre 100 y 200 mmHg) los colores serán rojo, naranja, amarillo y para presiones bajas (entre 32 y 97 mmHg) verde y azul, permitiendo definir la distribución de fuerzas a partir del mapa en la cadera de las personas o pacientes. [13].



Fig. 6. Vector resultante de la distribución de fuerzas en la cadera en posición sedente.

#### A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para conocer la cantidad de presión aplicada a cada zona se realizó un análisis estadístico de donde se pudo inferir para hombres (Tabla 1) y mujeres (Tabla 2).

- Para el caso de los hombres:

TABLA 1. PORCENTAJES DE PRESIONES OBTENIDAS EN MAPA DE REFERENCIA PARA HOMBRES.

Presión (mmHg)	Número de Hombres	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual (%)
16-54.3	9	9/25	36
54.3-92.6	2	2/25	8
92.6-130.9	6	6/25	24
130.9-169.2	4	4/25	16
169.2-207	4	4/25	16
TOTAL	25	1	100

- Para el caso de las mujeres:

TABLA 2. PORCENTAJES DE PRESIONES OBTENIDAS EN EL MAPA DE REFERENCIA PARA MUJERES.

Presión (mmHg)	Número de mujeres	Frecuencia Relativa	Frecuencia Porcentual (%)
20-57.47	5	5/25	20
57.47-94.94	8	8/25	32
94.94-132.41	2	2/25	8
132.41-169.88	5	5/25	20
169.88-207	5	5/25	20
TOTAL	25	1	100

Ahora se procede a realizar una comparación entre los mapas de referencia para ambos géneros, de donde se puede inferir los valores de cuartiles y percentiles que identifican de manera puntual las presiones generadas tanto por hombres como por mujeres. Las Fig. 7 y 8 ilustran este comportamiento.

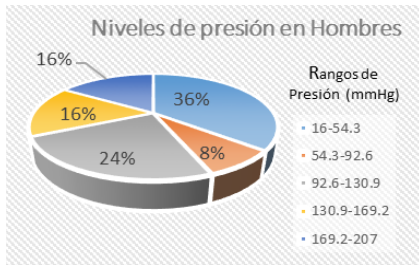


Fig. 7. Niveles de Presión en Hombres (Muestra).

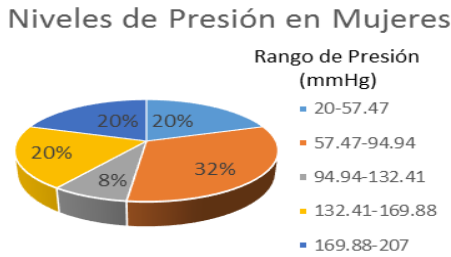


Fig. 8. Niveles de Presión en Mujeres (Muestra).

Para establecer que la muestra de la población estudiada es homogénea, es decir, el mismo somatotipo preestablecido anteriormente, se calcula mediante la comparación de la desviación estándar de los resultados promedios obtenidos de la población, en donde se encuentre dentro del intervalo de la quinta y cuarta parte rango (1).

$$\text{Homogéneo} = \left[ \frac{R}{5}, \frac{R}{4} \right] \quad (1)$$

$$\text{Desviación estándar}_{\text{Hombres}} = 64.03 \quad (2)$$

$$\text{Homogéneo}_{\text{Hombres}} = \left[ \frac{R}{5}, \frac{R}{4} \right] \quad (3)$$

$$\text{Homogéneo}_{\text{Hombres}} = \left[ \frac{191}{5}, \frac{191}{4} \right]$$

$$\text{Homogéneo}_{\text{Hombres}} = [38.18, 47.725]$$

$$\text{Desviación estándar}_{\text{Mujer}} = 62.19 \quad (4)$$

$$\text{Homogéneo}_{\text{Mujer}} = \left[ \frac{187}{5}, \frac{187}{4} \right] \quad (5)$$

$$\text{Homogéneo}_{\text{Mujer}} = [37.35, 46.69]$$

En el mapeo de presión que se realizó a los individuos del estudio mediante la plataforma resistiva se puede apreciar que mediante la *Teoría de los Elementos Finitos* la cual permite definir una aproximación de ecuaciones de comportamiento de los sensores y de las zonas intermedias, se establecen los valores de presión en mmHg, y define como puntos de presión alta (zonas rojas, naranjas y amarillas) para las cuales se destacan las zonas óseas isquial y sacro-coxígea y los puntos de presión baja (zonas azules, verdes, blancas) estarán definidos por la zonas óseas y musculares: trocánterea, el aductor mayor y los piriformes. Se establece entonces que para el caso de los hombres la distribución de fuerzas encuentra con mayor presencia en la zona isquial con una tendencia leve hacia la zona sacra y coxígea que se ubicaría en la parte de atrás

de la plataforma o en la parte superior (B) del mapa de referencia, para el caso de las mujeres la presiones mayores se presentan en las zonas isquial, coxígea y sacra con una tendencia mayor a la de los hombres en distribución de fuerzas hacia los periformes y el aductor mayor por tener piernas cortas y gruesas con respecto a la de los hombres.

#### IV. CONCLUSIONES

El vector resultante de la distribución de fuerzas se cumple, ya que desde los isquiones hasta el glúteo menor varía de acuerdo a la presión aplicada por lo que las máximas presiones generadas por las mujeres se ubican entre 57 a 95 mmHg aproximadamente, que para los hombres es de 16 a 55 mmHg aproximadamente, esto debido a que en las mujeres la morfología anatómica de la cadera difiere de la de los hombres por lo que es más amplia.

Las mínimas presiones generadas por las mujeres corresponden al 20% y en los hombres al 36%, lo que indica que un factor diferencial entre hombres y mujeres a nivel a puntos de presión y de distribución de fuerzas, debido a la morfología anatómica de la cadera, característica de cada género. De esta forma las presiones intermedias en hombres son del 24% y en mujeres es de 8%, por lo que no representan alarma debido a que se localizan en zonas donde no existen prominencias óseas.

Según el estudio estadístico planteado se puede inferir que las mujeres son más propensas a desarrollar úlceras por presión, debido a que la frecuencia relativa y porcentual de la población de mujeres estudiada, es mayor que la de los hombres, con índices de 0,2 en frecuencia relativa para mujeres y de 1,5 en hombres. Un 44% de los hombres de la muestra de la población de estudio, generan presiones bajas para la posición sedente, lo que disminuye la probabilidad de que desarrollen la patología.

Se obtienen que tanto para hombres, como para mujeres, los puntos de mayor presión y el centro de masa se ubiquen en las zonas isquiales y varían con base a la alineación del cuerpo y la cantidad de peso soportado por las articulaciones y la fuerza de los músculos que oscila entre límites razonables dependiendo del movimiento del cuerpo.

#### REFERENCIAS

- [1] Prevalencia de úlceras por presión en Colombia: informe preliminar. Renata Virginia González-Consuegra, Diana Marcela Cardona-Mazo, Paola Andrea Murcia-Trujillo, Gustavo David Matiz-Vera. rev.fac.med. vol. 62 No.3 Bogotá July/Sept. 2014.
- [2] Cuervo, F. M. Las Úlceras por Presión: Una problemática prevenible. Enfermagem e Úlceras por Pressão: Da Reflexão sobre a Disciplina.
- [3] Soldevilla Agreda, J. J., Torra i Bou, J. E., Verdú Soriano, J., Martínez Cuervo, F., López Casanova, P., Rueda López, J., & Mayán Santos, J. M. (2006). 2º Estudio Nacional de Prevalencia de Úlceras por Presión en España, 2005: Epidemiología y variables definitorias de las lesiones y pacientes.
- [4] Schaper, DC. Body alignment, posture, and gait. [http://www.chiro.org/ACAPress/Body\\_Alignment.html](http://www.chiro.org/ACAPress/Body_Alignment.html) (24 de Febrero de 2014)
- [5] Técnico, C. (2010). Unidad Sectorial de Normalización en Salud. Guía "Técnica" Buenas Prácticas" para la seguridad del paciente en la atención en salud. Bogotá: Ministerio de la Protección Social, USN-Unidad Sectorial de Normalización en Salud, 77-81.

[6] García Fernández, F. P., Pancorbo Hidalgo, P. L., Soldevilla Ágreda, J. J., & Blasco García, C. (2008). Escalas de valoración del riesgo de desarrollar úlceras por presión. *Gerokomos*, 9(3).

[7] Riscanevo., Diana Yadhith y Caro., Edward Wilder (2013). Dispositivo Automático para la prevención de úlceras por presión grado I y II en la región sacra isquial para pacientes en silla de ruedas. Tunja. 95 h. Proyecto de Investigación. (Ingenieros Electrónicos) Universidad Santo Tomás-Tunja. Facultad de Ingeniería Electrónica. Grupo de Investigación EICIT.

[8] Prevalencia de úlceras por presión en Colombia: informe preliminar. Renata Virginia González-Consuegra, Diana Marcela Cardona-Mazo, Paola Andrea Murcia-Trujillo, Gustavo David Matiz-Vera. *rev.fac.med.* vol. 62 No.3 Bogotá July/Sept. 2014.

[9] HANAVAN, Ernest P. A mathematical model of the human body. Tercera Edición, Aerospace Medical Research Laboratories, Aerospace Medical Division, Air Force Systems Command, 1964.

[10] Yang, Y et al., 2010. Design and preliminary evaluation of an air-alternating wheelchair seating system for pressure ulcer prevention. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?mamumber=5478971&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?mamumber=5478971&tag=1) (12 de Junio de 2013)

[11] Gonzales, C., (2005). Experimental seat for the study of the effects of random pneumatic stimulation for the prevention of pressure ulcers. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?amumber=1529603](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?amumber=1529603) (12 de Junio de 2013)

[12] Castañeda Gueimonde, C. M., Amigo Castañeda, P., & Rodríguez Díaz, M. (2005). Diferencias entre géneros y fractura de cadera. *Rev. medica electron*, 27(3).

[13] Mejía. Fernando (2008). Introducción al modelamiento por elementos finitos con ANSYS. [www.estructuras.unal.edu.co/Pagina%20ANSYS/.../5beam.pdf](http://www.estructuras.unal.edu.co/Pagina%20ANSYS/.../5beam.pdf) (9 de Marzo de 2014)

[14] SEGURIDAD DEL PACIENTE HOSPITALIZADO. Úlceras por Presión. M<sup>a</sup> Reyes Marín Fernández. Coordinadora Enfermería H. Sant Joan de Déu Palma Mallorca Miembro GAUPP (Grupo Asesor en UPP de Islas Baleares). 6 Noviembre 2013.