



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería

**Diseño de dispositivo portátil para tratamiento de la pediculosis capitis  
aplicando principios de criogenia**

**Tesis individual**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
**Licenciado en Diseño Industrial**

**Presenta:**

Alejandro Bárcenas Yépez

**Dirigido por:**

M.D.I. Anelisse Yerett Oliveri Rivera

M.D.I. Anelisse Yerett Oliveri Rivera

Presidente

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz

Secretario

M.C. José Luis Avendaño Juárez

Vocal

Dr. Dimas Talavera Velázquez

Suplente

Nombre y Firma

Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

## RESUMEN

El aumento en brotes de infestaciones de piojos en la población mexicana en los últimos años, aunado a la creciente resistencia del parásito ante los escabicidas implementados comúnmente, hace evidente la necesidad de desarrollar nuevos tratamientos capaces de lidiar con los artrópodos. Un tratamiento que muestra posibilidades de reemplazar aquellos tradicionales es el uso de gases criogénicos para tratar con la infestación, sin embargo, no existe equipo especializado para la tarea. Es por esto que en el presente trabajo se detalla el diseño y producción de tal dispositivo, el cual su función principal es la de nebulizar nitrógeno líquido de manera tal que libera una nube de gas la cual reduce la temperatura del cuero cabelludo a tal punto que termina con la vida de los parásitos sin dañar al paciente ni al operador. Dicho instrumento asemeja a un peine, el cual al cepillar el cabello brinda protección al operador por los materiales poliméricos que componen su carcasa exterior. Materiales seleccionados principalmente por su desempeño a bajas temperaturas como su facilidad de maquinado.

**(Palabras clave:** Piojo, Pediculosis Capitis, Nitrogeno, Criogenia, Equipo medico)

## SUMMARY

The recent outbreaks in head lice sprouts within the Mexican population and the increase number of reports of resistance of the lice against scabicides used in common treatments bring up front the need of new treatments capable enough to handle the parasites. A new treatment has shown to be able of replace those ineffective treatments with the use of cryogenic gases, however it does not exist specialized equipment to handle the task. This paper detailed the design and manufacturing of a product that can vaporized liquid nitrogen, and reduced the atmosphere temperature near de scalp leading to the death of lice. The product design its similar to a comb covered with selected material for security issues.

**(Key words:** lice, head lice, Nitrogen, Cryogenics, Medical equipment)

**A mi hermano, quien me inspiro para seguir este camino.**

**Gracias por todo.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que me ayudaron a completar esta etapa, a quienes me acompañaron en los días de desvelo, estrés y felicidad. A mis profesores que me apoyaron siempre que lo necesite, a mis amigos que me brindaron su consejo, a mi familia quienes siempre estuvieron conmigo.

# Índice

Introducción .....	9
Los artrópodos .....	9
Pediculosis <i>Capitis</i> .....	10
Síntomas .....	11
Tratamientos existentes .....	12
Hipótesis .....	14
Marco teórico .....	16
Pediculus Humanus Capitis .....	16
Ciclo de vida del piojo .....	16
Contagio, impacto social y sus efectos psicológicos .....	20
Repudio social y estigmatización del padecimiento .....	22
Epidemia: causas y factores .....	22
Mala praxis, consecuencias del autotratamiento y la desinformación .....	25
Factores y variables influyentes en el desarrollo y supervivencia del piojo de la cabeza .....	27
Ciclo de infestación de la pediculosis .....	31
Criogenia .....	34
Criogenia; oportunidad y brecha tecnológica .....	35
Gases criogénicos .....	36
Crioterapia en otros ámbitos (fisioterapia) .....	36
Efecto de temperaturas criogénicas sostenidas sobre metales y polímeros (latón, ABS y PLA) .....	37
Metodología .....	38
Análisis de Fondo, tratamiento y equipo. ....	39
Proceso de Diseño .....	41
Designación de parámetros .....	41
Diseño de Componentes .....	42
Pruebas .....	56
Evolución del prototipo .....	57
Primer modelo funcional .....	57
Segundo modelo funcional .....	57
Tercer modelo funcional .....	58

Cuarto modelo funcional, modelo final .....	58
Conclusiones y resultados.....	59
Bibliografía .....	60

# Introducción

## Los artrópodos

Cuando se habla del reino *animalia* tiende a pensarse de inmediato en el grupo de vertebrados integrado por mamíferos, reptiles, aves, anfibios, peces, etc., y tiende a excluirse a otros grupos componentes del reino como los invertebrados, donde encontramos a los artrópodos, quienes en conjunto superan con creces en diversidad y cantidad a los vertebrados.

A pesar de los innumerables intentos por contabilizar la cantidad de especies existentes de insectos en el planeta, la comunidad científica solo ha logrado arrojar estimaciones sobre su población total; se han sugerido cifras desde los 2 hasta los 30 millones de especies, implicando que colectivamente representan la mayoría de la masa total de animales sobre el globo (National Geographic 2012).

Los artrópodos, al representar una gran porción del reino animal, son considerados piedras angulares tanto de innumerables ecosistemas como de ciclos de vida; por lo anterior se puede decir que estos han influido de manera importante en el desarrollo y evolución de otras familias del reino a lo largo de la historia mediante relaciones simbióticas o parasitarias (Chapman 2002).

La relación que se guarda con los insectos tiende a pasar desapercibida por el grueso de la población, prefiriendo ignorar la existencia de estos seres, lo cual no impide en absoluto que sean una de las variables con mayor repercusión en el estilo de vida del ser humano (Morón 1988).

Con el paso del tiempo, la historia del hombre se ha visto moldeada en numerosas ocasiones por el impacto que tienen los insectos, tanto en las diferentes culturas como en los suministros de alimento y más importante aún, en nuestra salud.

Naturalmente, las interacciones que el hombre llega a tener con los insectos han sido tanto benéficas como perjudiciales. Un ejemplo de una relación benéfica,



o simbiótica<sup>1</sup> puede ser la domesticación de las abejas, las cuales se encargan de polinizar más del 70% de las plantas que forman parte integral de nuestra alimentación (García et al 2016).

Contrariamente, existe una buena porción de especies de insectos que atentan contra nuestra salud; tal es el caso de aquellos quienes funcionan como medio para la transmisión de enfermedades infecciosas. De igual manera existen aquellos quienes se convierten en parásitos, aprovechándose de los recursos disponibles de otros seres, sobreviviendo mientras perpetúan su especie a costa de la salud del huésped.

### *Pediculosis Capitis*

Al representar un peligro, los artrópodos parasitarios despiertan el interés de la comunidad científica, es por esto que se tiene un mayor entendimiento sobre aquellas especies portadoras y/o causantes de enfermedades. De entre el océano de especies de artrópodos parasitarios que atacan al ser humano, uno de los más comunes alrededor del mundo es aquel conocido comúnmente como *piojo*, el cual pertenece al orden *dphthripta*, siendo estos integrantes de la especie *anoptura*.

Específicamente existen 3 especies de piojos conocidos que infesten al ser humano, el piojo de la cabeza (*Pediculus humanus capitis*), el piojo del cuerpo (*Pediculus humanus corporis*) y el piojo del pubis (*Pthirus pubis*).

El piojo de la cabeza es el responsable de un padecimiento conocido como *pediculosis capitis*, el cual consiste en una invasión circunscrita al cuero cabelludo por parte del artrópodo. Descrito por Herranz y Abad (2008) a groso modo como un parásito hematófago obligado, indicando que este debe alimentarse de la sangre de su huésped constantemente para asegurar su supervivencia, causando una serie de síntomas tanto físicos como psicológicos.

---

<sup>1</sup>Simbiosis: Asociación de individuos animales o vegetales de diferentes especies, sobre todo si los simbiosntes sacan provecho de la vida en común.



*Ilustración 1 Representación del aspecto de las tres especies de piojos que infestan al ser humano (Castillo, 2013)*

### Síntomas

La sintomatología fisiológica característica de esta infestación parasitaria es descrita por Gahíri (2012) como la aparición de un intenso prurito en el cuero cabelludo, el cual consiste en un agudo escozor generalizado, mostrando una mayor intensidad en la zona de la coronilla y alrededor de las orejas, igualmente se ve acompañado de una descamación y heridas auto infligidas por el continuo intento de aliviar dicha comezón por medio del rascado de la dermis.

Con la propagación del parásito, se comienza a observar la aparición de crisálidas blanquecinas adheridas a los cabellos del huésped, las cuales contienen a las larvas del insecto, siendo estas un buen indicador del tiempo que ha transcurrido desde el contagio.

Como se puede apreciar en la Ilustración 2 se presenta una correlación entre las zonas con mayor densidad de parásitos y la severidad del eccema en dichas regiones.



*Ilustración 2 Zonas de mayor concentración de piojos (Gutiérrez 2018)*

### *Tratamientos existentes*

Tras haber combatido contra este parásito prácticamente desde que se tiene registro, los diversos métodos utilizados para lidiar con el piojo han evolucionado, desde la rutina de despiojar a un integrante del grupo mecánicamente, pasando por ungüentos y baños con hierbas medicinales, hasta llegar a los tratamientos farmacéuticos modernos.

Cada tratamiento con el que se ha tratado de combatir al piojo tiene sus pros y sus contras, unos pueden ser tremendamente efectivos, pero resultar igualmente nocivos para la salud. Otros prometen una erradicación del insecto de manera fácil e indolora con una inigualable comodidad, pero resultan ser tan ineficientes como el hacer absolutamente nada.

El conocer las ventajas y debilidades de cada uno de los tratamientos existentes puede brindar un entendimiento invaluable sobre la infestación, dando pie al desarrollo de procedimientos nuevos capaces de cumplir su cometido sin comprometer el bienestar del paciente ni el de su comunidad.

De manera simplificada, se puede hacer distinción de 2 clases de tratamientos, aquellos a los que se les denominará como tradicionales, basados en la medicina alopática, y los denominados alternativos, siendo estos los de conocimiento popular no respaldados por instituciones u organismos oficiales.

### *Tratamientos tradicionales*

Los tratamientos tradicionales, generalmente clasificados como pediculidas o escabicidas, en su mayoría utilizan derivados de piretrinas o piretroides, los cuales hacen la función de neurotóxicas, atacando el sistema nervioso central del piojo, por lo que en su tiempo resultaron extremadamente exitosos.

Un tratamiento promedio utilizando pediculidas tiende a ser aplicado de manera tópica, mediante champú adicionados con las neurotóxicas. Usualmente se procede a un lavado minucioso del cuero cabelludo del paciente, para posteriormente enjuagar la cabellera y proceder a una remoción manual de los parásitos al utilizar una lendrera.

Cabe destacar, que la mayoría de los tratamientos requieren un seguimiento que implica una segunda y hasta una tercera aplicación, seguidos por un periodo de cuarentena durante el cual deben de realizarse repetidas inspecciones del cuero cabelludo para poder confirmar la ausencia de paracitos al igual que de liendres

Grupo	Nombre genérico
1. Piretroides naturales	Crisantemato
2. Piretroides sintéticos	Permetrina, Fenotrina, Bioaletrina
3. Organoclorados	Lindano
4. Organofosforados	Malathion
5. Carbamatos	Carbaril
6. Otros	Butóxido de piperonilo

*Tabla 1 Clasificación de los pediculicidas (Gairí, Molina, Moraga, Viñallonga, & Baselga, 2012)*

#### Efectos secundarios

Como cualquier medicamento, estos tratamientos pueden generar efectos secundarios, entre los cuales se encuentran la urticaria, la hipersensibilidad y hasta la intoxicación por absorción cutánea, provocando una respuesta negativa por parte del paciente, teniendo como consecuencia la renuencia a completar las rondas de tratamiento afectando reiteradamente la autoestima y la salud de los mismos.

#### Tratamientos alternativos

En contra parte, los tratamientos alternativos pueden ser considerados como todos aquellos que no se encuentran regulados ni abalados por ninguna institución u organismo oficial, así mismo, solamente se encuentran respaldados por el conocimiento empírico que la población posea sobre ellos.

Típicamente, tratamientos de esta índole utilizan principios físicos para combatir la infestación. Algunos aprovechan las propiedades de sustancias altamente viscosas como lo son la vaselina, mayonesa, soluciones de petróleo o semejantes para atrapar al piojo; otros se valen de agentes químicos orgánicos para ahuyentar y/o envenenar al insecto mediante infusiones de hiervas medicinales.

De igual manera que los tratamientos tradicionales, estos utilizan la misma metodología en esencia, lavando el cuero cabelludo con el tratamiento elegido para

proseguir con una revisión mecánica con una lendrera y la misma cuarentena reglamentaria.

A pesar de ser poco confiables los métodos alternativos, estos con frecuencia, mediante prueba y error terminan convirtiéndose en la base de nuevos tratamientos. La medicina alotrópica debe su éxito a sus bases naturistas, todos los tratamientos modernos a los que se les confía la salud de las personas tienen un origen en una medicina empírica y “natural”.

Si se toma en cuenta lo previamente mencionado, no es de extrañar, que de entre la multitud de remedios caseros, aparezcan tratamientos con potencial para ser desarrollados y poder ser respaldados científicamente.

### Hipótesis

Para efectos de este trabajo de investigación la hipótesis planteada, a diferencia de las acostumbradas en otros campos del conocimiento, se plasma de tal manera que la interrogante no hace alusión a un concepto teórico sino a una pregunta de si un producto es factible o no.

En otras palabras, las Tesis de diseño van encaminadas a la factibilidad de funcionamiento de un producto, tomando en cuenta múltiples variables como la ergonomía, forma función y semiótica por mencionar algunas tan solo. Concretamente, la hipótesis planteada en esta tesis es la siguiente

*Sí se diseña un dispositivo para el tratamiento de la pediculosis capitis que utilice la criogenia como principio activo, se podrá prescindir del uso de tratamientos que involucren piretrinas y/o piretroides.*

Teniendo la presente hipótesis, se pueden dilucidar el objetivo primario de esta tesis, el cual se puede delimitar como el siguiente:

*Diseñar y prototipar un dispositivo médico capaz de utilizar elementos criogénicos que sustituyan a las piretrinas y/o piretroides como tratamiento para la pediculosis capitis*

De dicho objetivo se desprenden una serie de metas u objetivos secundarios los cuales irán guiando el desarrollo y en última instancia el resultado final del trabajo

aquí presente. A continuación se enlistan los que serán dichos objetivos secundarios:

- Análisis y selección de tecnologías, tratamientos y herramental disponible actualmente que puedan ofrecer una alternativa viable para el manejo de elementos criogénicos
- Determinar los parámetros a utilizar en el proceso de diseño, entendiéndose como los diversos criterios que tomaran importancia así como la jerarquía que obedecerán los mismos.
- Generar un diseño del dispositivo sobre el cual se ira trabajando, perfeccionándose con cada iteración del proceso de diseño (materialización, prueba, análisis, propuesta) hasta llegar al producto final
- Validar la funcionalidad del producto final al someterlo a pruebas de campo donde se pueda verificar su funcionamiento de manera que se puedan obtener datos duros y reales sobre su desempeño dejando de lado los resultados supuestos en cálculos.

Habiendo declarado los objetivos y las intenciones de esta tesis sobre el trabajo esperado así como a realizar se procede al análisis del estado del arte, con lo cual se pretende esclarecer los conceptos básicos necesarios para llevar acabo las acciones necesarias para probar la hipótesis así como el cumplimiento de los objetivos planteados.

## Marco teórico

### *Pediculus Humanus Capitis*

El insecto parásito *pediculus humanus capitis*, comúnmente conocido como piojo de la cabeza perteneciente al orden *dphthrioptera*, siendo integrante de la especie *anoptura* resulta ser el causante de la pediculosis *capitis*, padecimiento que consiste en la infestación del cuero cabelludo por parte del artrópodo causando severa irritación, descamación y lesiones en la dermis de la cabeza (Castillo, 2013).

Para entender al piojo de la cabeza resulta de vital importancia conocer tanto su morfología como su comportamiento. Una manera de analizar metódicamente al insecto es examinando ambos aspectos a lo largo de su ciclo de vida, dado que en cada etapa de su desarrollo, elementos diversos entran en juego a lo largo de la infestación, en la cual se presentan cada una de las etapas del desarrollo del piojo, por lo que es imprescindible diseccionar cada una a profundidad para lograr desarrollar una estrategia tanto eficaz como eficiente.

### Ciclo de vida del piojo

El ciclo de vida del artrópodo consiste en un total de tres etapas principales como muestra la . Primeramente, el desarrollo comienza con la etapa embrionaria, donde se le conoce como “Liendre”, posteriormente a la eclosión se le denomina “Ninfa” o cría, para culminar su desarrollo en su etapa adulta donde adquiere las características físicas con las que el grueso de la población reconoce al piojo (Ribera, Melic, & Torralba, 2015).

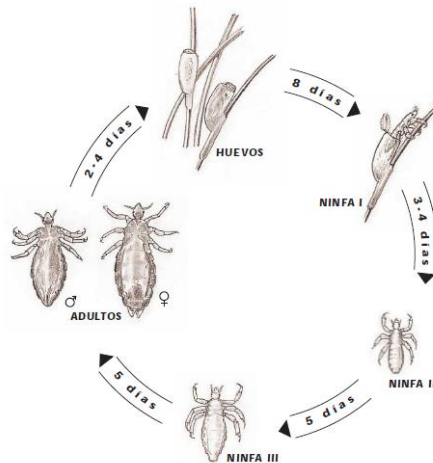


Ilustración 3 Ciclo de vida del piojo (López, 2008)

### Liendre

El *pediculus capitis* siendo un invertebrado del orden “*insecta*” pertenece a la fracción de artrópodos cuyo método de reproducción les clasifica como ovíparos; iniciando su ciclo de vida como una larva denominada liendre la cual es depositada por la hembra adulta a una distancia de dos a tres milímetros del cuero cabelludo. El huevecillo se ve adherido al capilar mediante una mezcla de enzimas hidrofóbicas que al solidificar forman una crisálida resistente a impactos donde la cría completará su desarrollo hasta la eclosión.



Ilustración 4 Huevo de piojo, liendre (descocido  
<http://eliminarpiojos.es/como-eliminar-las-liendres-remedio-natural/>)

La crisálida tiene una apariencia distintiva (siendo un indicador indiscutible de la parasitosis de la pediculosis) manteniendo una longitud promedio de entre dos y 3 milímetros, las enzimas le otorgan un matiz blanquecino llegando a tonos marrones claros. Por su naturaleza las crisálidas se adhieren a los capilares de manera tal que se crea una unión química hidrofóbica siendo esta la razón de la necesidad de implementar tratamientos químicos para la disolución del vínculo entre la liendre y el cabello.

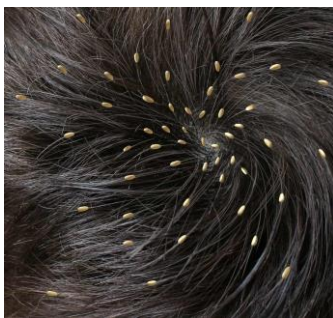


Ilustración 5 Progresión de infestación (desconocido  
<https://okdiario.com/howto/2017/08/11/como-eliminar-liendres-1235801>)

El periodo de incubación de la liendre tiene una duración de entre 3 y 4 días en condiciones idóneas, por lo que aunado al ritmo con el que crecen los folículos capilares se puede determinar el tiempo que ha transcurrido desde el contagio ayudando así a determinar el tratamiento apropiado para erradicar al parásito.



### *Ninfa*

La ninfa tras eclosionar debe pasar por tres estadios juveniles previos a su madurez. Tras alimentarse por primera vez de sangre, comienzan un periodo de crecimiento donde mudan sucesivamente en dos ocasiones, hasta lograr una apariencia prácticamente idéntica a la de su contraparte adulta. La principal diferencia que mantiene el último de los estadios ninfales con un piojo adulto es la madurez de sus órganos sexuales, siendo que culmina su desarrollo al alcanzar la madurez sexual (López, 2008).



*Ilustración 6 Estados ninfales (López, 2008).*

Durante sus etapas de desarrollo, la ninfa cohabita en el cuero cabelludo junto con el piojo, lo que lleva a pensar que en todo momento existen decenas de piojos adultos, lo cual resulta ser falso según Gairí (2012) quien indica que la población de artropodos adultos rara vez sobre pasa las 2 docenas durante una infestación, por lo que las ninfas representan la mayoría de la población activa durante la ocupación.

Cabe resaltar que el proceso para alcanzar cada estadio ninfal toma un total de entre 3 a 5 días para llegar a la madurez sexual en cuestión de 14 días por lo general, tiempo en el cual continúan alimentándose diariamente contribuyendo al malestar del paciente esparciendo el prurito en el cuero cabelludo, fomentando que el huésped se rasque provocando nuevas heridas facilitando su alimentación.

### *Piojo adulto*

Tras alcanzar la madurez sexual los piojos culminan su desarrollo adquiriendo el aspecto clásico con el que se les caracteriza. Poseen un cuerpo aplanado ovoide, similar a los granos de arroz; con un tono natural blanquecino o grisáceo el cual se llega a tornar marrón tras alimentarse dado que el matiz rojo de la hemoglobina logra dilucidarse a través de su exoesqueleto.

Para alimentarse, el piojo se vale de dos elementos que ha desarrollado especialmente para la tarea, el primero de ellos son sus mandíbulas diseñadas para perforar las primeras capas de la dermis dándole acceso a vasos capilares de los cuales obtiene la sangre necesaria para alimentarse. En segunda instancia se encuentra su saliva, la cual al estar cargada con un coctel de enzimas anticoagulantes retrasa y/o impide la cicatrización de la herida al tiempo que sustancias vasodilatadoras aumentan el flujo de sangre por el tiempo suficiente para alimentarse propiamente.



*Ilustración 7 Piojo adulto*  
(<https://es.wikipedia.org/wiki/Anoplura>)

Para maximizar sus probabilidades de supervivencia, los piojos desarrollaron extremidades especializadas para desplazarse tanto sobre el cuero cabelludo como por entre los cabellos del huésped. Su habilidad y fisionomía les permiten moverse a una velocidad de treinta centímetros por minuto, por lo que su capacidad para mimetizarse en el ambiente, así como habilidad para aferrarse a capilares les proporciona una ventaja ante intentos del huésped por removerlos de su hábitat.

La esperanza de vida de un piojo de la cabeza promedio ronda los 28 días por lo que al alcanzar la madures sexual las hembras comienzan a aparearse tan no más de 24 horas para posteriormente desovar de 1 a 2 veces al día procreando un total de entre 110 a 145 crías cada una en un lapso de entre 12 y 16 días (Herranz & Abad, 2008).

### Contagio, impacto social y sus efectos psicológicos

El piojo debe gran parte de su éxito a su eficiente método de migración entre huéspedes. Al carecer de apéndices que le permitan desplazarse de manera aérea, desarrolló extremidades especializadas para transitar por el cuero cabelludo y trepar a los cabellos del mismo con extrema facilidad, habilidad que aprovecha al momento en que la cabeza de un portador tiene contacto con la de otra persona sana para desplazarse entre los capilares, comenzando una nueva infestación.



*Ilustración 8 Detalle patas anteriores de hembra y macho (López 2008).*

Pese a que el método de transmisión directa implementado por el piojo es el más efectivo, la pediculosis se puede contagiar al entrar en contacto con un objeto portador, como pueden ser gorras, cepillos, ropa de cama y muñecos de felpa; más se debe hacer hincapié en el hecho de que la probabilidad de infestación por este medio resulta ser mucho menor debido a que el parásito no sobrevive más de 48 horas sin alimentarse.

Se creó que por su naturaleza social los infantes son el grupo más propenso a padecer de esta infestación, dado que tienden a mantener un contacto físico directo con otros niños de su edad, a diferencia de los adultos, quienes mantienen constantemente una “zona de interacción íntima” reducida con un contacto físico entre individuos mínimo (Panero & Zelnik, 2014).

### *Variables sobre el contagio*

Resulta de interés el hecho de que los brotes de pediculosis *capitis* muestran patrones de emergencia relativamente constantes a lo largo del planeta. Locaciones con climas templados la mayor parte del año registran epidemias prácticamente

cíclicas año con año durante los periodos de primavera y verano, temporadas donde las condiciones resultan favorecedoras para el parásito.

Un aspecto que resaltar sobre este artrópodo es el hecho de que ha logrado superar la barrera climática y prevalecer en climas fríos, como es el caso de norteamérica, donde los casos son reportados inclusive durante el invierno cuando las temperaturas llegan a rondar los  $-5^{\circ}\text{C}$ , indicando una gran capacidad de resistencia y flexibilidad ante situaciones adversas. (Cummings, Finlay, & MacDonald, 2018)

Otra característica que muestra la capacidad de adaptación del espécimen es su aparente indiscriminación para infestar huéspedes. Los reportes de infestaciones arrojan datos donde prácticamente cualquier sujeto puede ser infestado, sin importar edad, raza, sexo, estrato social, ni hábitos de limpieza. Pese a lo anteriormente mencionado, es sabido que existe una remarcable concentración de casos en infantes. Este rasgo se atribuye más a una consecuencia de la naturaleza social humana que a la del insecto.

Brotos han surgido en toda clase de comunidades, desde zonas urbanas de primer mundo, como en asentamientos apartados de las manchas urbanas. Sin embargo, aquellos que se han tomado el tiempo de analizar con detenimiento la severidad de las infestaciones y brotes que aparecen en contextos completamente diferentes y sin relación alguna, han determinado una serie de factores que favorecen una infestación exitosa.

Se ha observado una predilección por parte del piojo a invadir el cuero cabelludo de personas cuyo cabello sea lacio y carente de abundante grasa natural, contrario a la creencia popular. El artrópodo se ve atraído por un huésped que mantenga un cuero cabello sano y limpio, puesto que este ofrece un habitat propicio para su proliferación. En contra parte, un cabello rizado y/o grasoso representa un entorno precario para la pediculosis, mas no la impide (IMSS 2008).

### Repudio social y estigmatización del padecimiento

Acorde a lo reportado por diversos medios de comunicación (El País, 2015), se infiere que la asociación de esta condición con una pobre higiene y una mala calidad de vida se debe a que aquellos sujetos quienes se ven infestados y a la vez carecen de los recursos económicos necesarios para atender propiamente su estado o simplemente no tienen acceso a la información necesaria para hacerlo por ellos mismos permiten que la plaga se expanda de manera incontrolable.

Al no ser un padecimiento que represente un peligro inmediato ni severo, simplemente optan por vivir con ello a diferencia de los individuos que una vez caen en cuenta de su estado inmediatamente toman acciones correctivas. Aunque en la mayoría de los casos, por este mismo estigma que se le asocia, se toman medidas de manera apresurada y desinformada.

El tabú que rodea a la pediculosis tiene una serie de consecuencias que, en últimas instancias, generan círculos viciosos donde las acciones de los pacientes y sus familiares y/o allegados agravan el problema.

En primera instancia, el estigma que carga el padecimiento para aquellos que tienen acceso a tratamientos tanto tradicionales<sup>2</sup> como alternativos<sup>3</sup> los impulsa a tomar en sus manos el procedimiento, evitando en la medida de lo posible hacer público que ellos mismos, o un miembro de su familia (generalmente un niño) se encuentra infestado, rehusándose a acudir ante expertos de la salud para obtener un tratamiento adecuado terminando por recurrir a remedios caseros. Aunque estos pueden tener cierto grado de eficacia, la mayoría pueden resultar ser contraproducentes, generando daños físicos y emocionales al paciente.

### Epidemia: causas y factores

Este secretismo y recelo que envuelve a la pediculosis evita que las autoridades competentes no puedan informarse ni prepararse para afrontar brotes importantes que puedan tener consecuencias serias en la sociedad, ya que, de una u otra

---

<sup>2</sup> Tratamientos avalados por organismos de la salud

<sup>3</sup> Tratamientos basados en conocimiento popular

manera, una epidemia cualquiera tiene secuelas más allá de lo evidente, afectando el estilo de vida de miles de familias y por consecuencia a la sociedad en sí.

Se habla de una epidemia cuando una enfermedad o padecimiento afecta a un considerable número de individuos al mismo tiempo y en una zona geográfica determinada, caracterizándose por aumentar rápidamente tanto en número de infectados como en la propagación de la zona afectada.

Todos estos requisitos los reúne la pediculosis, lo que la puede calificar como una epidemia con características cíclicas, inclusive se le ha llegado a comparar con el resfriado común en cuanto a su capacidad de contagio. Tan solo en México se tiene información de 6 a 12 millones de casos anualmente (IMSS 2008), aunque se estima que al menos otros varios millones de casos pasan sin ser reportados, por lo que el impacto real de esta infestación solo puede ser un cálculo aproximado

Aunado al bajo índice de reporte, la cantidad de estudios propiamente realizados sobre el tema en nuestro país resulta desalentadora. Pocas investigaciones son realizadas y en su gran mayoría por extranjeros, los cuales, aunque brindan invaluable información, carecen del entendimiento que juegan las costumbres culturales en el desarrollo de la epidemia.

La inmensa diversidad cultural que alberga nuestra nación, provoca que cada estudio sea un caso aislado casi imposible de replicar en otras condiciones. No obstante, estudios como el de Menrique-Saide (2011) muestran correlación entre el ingreso económico que percibe una familia, la duración, severidad de la infestación, así como una inclinación ante los tratamientos caseros ante los farmacéuticos.

Dentro de este estudio se sugiere que el factor económico juega un papel decisivo en comunidades pequeñas en cuanto a la toma de decisiones a la hora de elegir un tratamiento por el costo que llega a representar el seguimiento necesario, así como los costos indirectos generados.



*Ilustración 9 Tratamiento para pediculosis. Costo \$700 (Itchy Bitsy Spa 2018).*

De forma paralela, la desinformación sobre los planes de acción para afrontar brotes de pediculosis dificulta la tarea de controlar y suprimir al parásito cuando este aparece en comunidades numerosas, dando pie a que la epidemia se propague y afecte a un mayor número de personas.

Actualmente, en México el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) cuenta con un plan de acción contra esta epidemia, el cual está plasmado en su Catálogo Maestro de Guías Prácticas Clínicas (2008). Este plan consiste una metodología que busca estandarizar y facilitar la detección, evaluación, tratamiento, cura y seguimiento de los brotes que puedan ocurrir dentro del territorio nacional.

Esta guía, aunque resulta efectiva para la detección y evaluación, empieza a tener deficiencias a la hora de controlar la crisis, y que persiste en atacar al parásito con agentes químicos cada vez más agresivos para contrarrestar la resistencia que comienza a percibirse desde hace varios años.

Como se puede apreciar en la **Error! Reference source not found.** el algoritmo recomendado por esta guía práctica indica un método replicable y completo, ya que contempla la posibilidad de diagnósticos diferenciales y llega hasta sugerir un curso de acción en caso de encontrar resistencia.

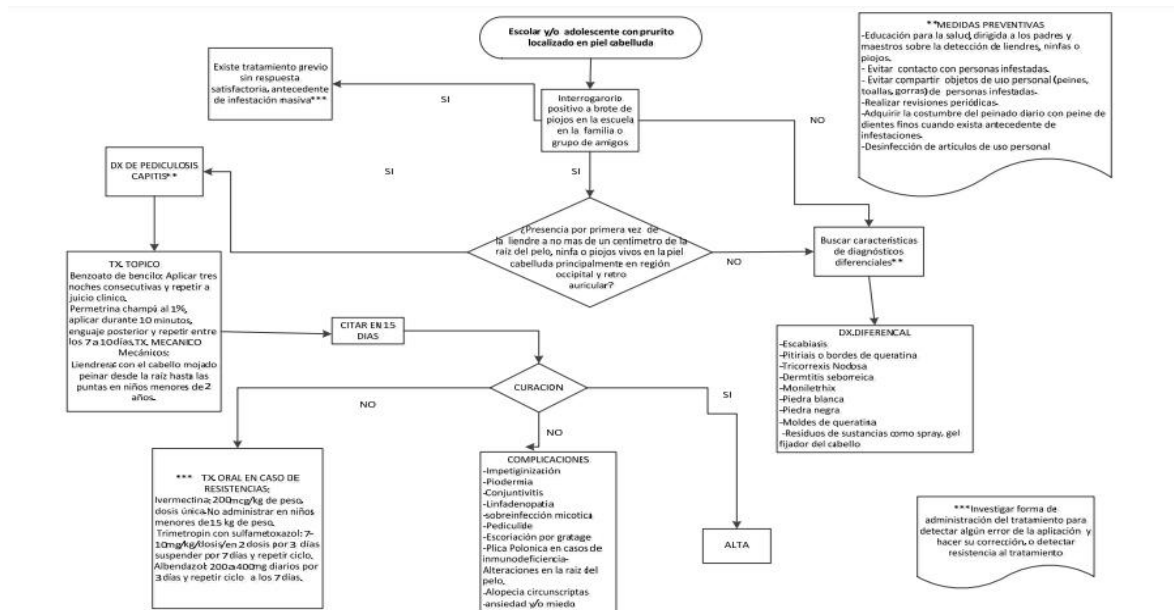


Ilustración 10 Algoritmo para diagnostic y tratamiento de pediculosis capitis (IMSS 2008)

Por su parte la Organización Mundial de la Salud (OMS), en su publicación sobre la prescripción de medicamentos para enfermedades cutáneas (1999) remarca la importancia de la elección del agente activo a la hora de tratar la infestación, tomando en cuenta primordialmente la edad del paciente y en segundo lugar la severidad de la invasión para determinar el tratamiento pertinente.

Cabe destacar, que esta publicación sobre las enfermedades cutáneas atiende someramente la pediculosis debido a la existencia de innumerables afectaciones en la dermis causada por organismos parasitarios.

En consecuencia, solamente se presenta un reducido catálogo de tratamientos (en su mayoría de amplio espectro) que pueden ser utilizados para contra atacar diversos organismos. Sin embargo, se señalan claramente las propiedades y contra indicaciones de cada uno para evitar provocar una mala praxis

#### *Mala praxis, consecuencias del autotratamiento y la desinformación*

Pese a la existencia de programas tanto privados como públicos para la atención de brotes de pediculosis, el tabo que rodea la infestación y la insistencia de los padres de familia por erradicar al piojo de la manera más rápida posible termina por provocar daños físicos y emocionales en los infantes afectados. Las consecuencias de un tratamiento agresivo o en su defecto, alternativo, pueden abarcar desde irritaciones en la dermis, hasta intoxicaciones generadas por los fármacos utilizados en el tratamiento de estirpes resistentes (Bentley, 2015).

En cuanto al aspecto psicológico, el estrés que generan los tratamientos termina afectando la psique de los infantes, e inclusive, pacientes de mayor edad llegan a presentar secuelas psicológicas por el tratamiento y la presión social de haber padecido pediculosis.

El procedimiento estándar para el tratamiento de la pediculosis demanda un seguimiento junto con un periodo de “cuarentena” (en el cual se debe repetir la aplicación y/o ingesta de medicamento para asegurar una erradicación del parásito) hecho que termina por agotar psicológicamente al paciente, siendo esta una de las



muchas causas de la renuencia de la población para recibir tratamiento especializado. (López, 2008)

Aunado a estos daños provocados al paciente, el uso indiscriminado de fármacos y remedios caseros, terminaron provocando la aparición de estirpes del artrópodo resistentes ante los tratamientos recomendados. Según datos del IMSS en el año 2013, estados como Yucatán, Estado de México (Nezahualcóyotl) y Guerrero mostraron un porcentaje de resistencia de entre el 18% y el 33%, índices que solo han ido aumentando, presentando un reto cada vez mayor.

A la detección de resistencia se le conoce como *knock down resistance* (también identificado como KDR) entendiéndose como la inmunidad de los insectos no solo ante los piretroides<sup>4</sup> sino también a piretrinas<sup>5</sup> (compuestos químicos base para la mayoría de pediculicidas y escabicidas modernos).

La aparición del KDR se atribuye a la proclividad que tiene el artrópodo a mutar en periodos cortos de tiempo buscando lograr sobrevivir a los tratamientos farmacéuticos, implicando la muy posible falla en una rápida contención de los constantes brotes de pediculosis en las poblaciones escolares (quienes suelen ser focos de infección) por parte de cuerpos médicos dispuestos para la atención amenazas similares. Las consecuencias de este ciclo constante, termina en desconfianza y recelo de la población hacia los especialistas, reincidiendo en la automedicación (IMSS, 2013).

---

<sup>4</sup> Sustancias químicas manufacturadas de estructura muy parecida a las piretrinas, aunque son generalmente más tóxicos para los insectos y también para los mamíferos, y permanecen por más tiempo en el ambiente que las piretrinas (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2018).

<sup>5</sup> Compuestos naturales que tienen propiedades insecticidas encontradas en el extracto de piretro de ciertas flores de crisantemos (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2018)

Factores y variables influyentes en el desarrollo y supervivencia del piojo de la cabeza

#### *Hábitat ideal*

La pediculosis capitis, al verse circunscrita al cuero cabelludo ha provocado una evolución altamente especializada del parásito, acoplándose a la topografía, humedad, temperatura y eventualidades que toman lugar en su hábitat, por lo que cualquier alteración en estos factores tienen como consecuencia serias alteraciones en su desarrollo.

El piojo de la cabeza ha demostrado predilección (mas no exclusividad) por huéspedes con cabello lacio y libre de grasas naturales puesto que representa un terreno idóneo para desplazarse al igual que su desarrollo y reproducción se ven beneficiadas por dichas condiciones, las cuales no presentan cabelleras rizadas, grasosas o sucias.

Se debe resaltar que la salud y hábitos del huésped juegan un papel primordial en las condiciones que experimenta el insecto durante la infestación ya que estas pueden alterar el crecimiento del cabello, así como la secreción de grasa y demás factores que influyen en el desarrollo del artrópodo (Rosso, Ramírez, & Rorres, 2003).

#### *Temperatura*

Como se menciona con anterioridad, la fisionomía del insecto se ha desarrollado de manera tal para que su organismo funcione de manera óptima en un rango de temperatura estrecho a comparación de el del ser humano ya que inclusive variaciones de siquiera  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  logran alterar de manera importante el metabolismo, funciones y desarrollo del artrópodo, pudiendo ser hasta letales dichas variaciones de temperatura.

Para apreciar de manera clara la influencia de la temperatura en la supervivencia del piojo resulta útil ubicar los diferentes puntos en los que se observan efectos evidentes por esta misma variable. Tomando en cuenta que la temperatura idónea para el artrópodo es muy similar a la temperatura interna promedio del ser humano ( $36\text{-}37^{\circ}\text{C}$ ) es lógico que sus umbrales de supervivencia se mantengan en ese mismo orden.

Primeramente, se ha observado que los insectos perecen al momento en que su temperatura interna registra los 40°C siendo este el umbral superior de temperatura que soportan en cualquier condición. Prosiguiendo en la escala de temperatura de manera descendente, una vez se llega a los 27°C el metabolismo del piojo comienza a mostrar un aletargamiento leve, agravándose conforme disminuye la temperatura grado a grado. (Cummings, Finlay, & MacDonald, 2018)

Al llegar al umbral de los 12°C el piojo presenta un paro prácticamente total de su metabolismo, entrando en un estado similar a la animación suspendida, manteniéndose de tal manera hasta hallarse en condiciones que presenten una menor hostilidad, sin embargo, si su temperatura interna desciende por debajo de los 0° centígrados, el deceso del insecto será inevitable puesto que su organismo no resulta capaz de elevar su temperatura por sí mismo, sucumbe ante la congelación de sus fluidos internos

Esta susceptibilidad a los cambios de temperatura es la razón del comportamiento del piojo ante diferentes climas y fluctuaciones de temperatura en su entorno. Al verse asediados por climas inclementes como los presentes en países del hemisferio norte modifican su comportamiento manteniéndose lo más cerca posible al cuero cabelludo, evitando hacer frente al viento gélido, llegando a refugiarse en prendas de ropa, ya que la temperatura cae con frecuencia por debajo de los -10°C durante las temporadas de invierno.

Por el contrario, en países donde experimentan entornos extremadamente cálidos, optan por deambular y desovar en la periferia de la cabellera sin importar que esto los ponga en una posición vulnerable al exponerse de tal manera. Este cambio de comportamiento atiende a la necesidad de regular su temperatura interna evitando rebasar los umbrales antes mencionados.

De igual manera, las liendres, aún sin eclosionar sufren por los cambios de temperatura experimentados, siendo estas las más vulnerables a ellos. Se reportan casos donde una fiebre severa (40°C) logra matar a la larva captiva, inclusive logra

hacer huir al paracito si esta temperatura persiste. Por el lado contrario, el frio extremo también afecta de manera peculiar a la crisálida.

En las pruebas realizadas por la empresa IAP con técnicas de crioterapia mostraron que las enzimas responsables de adherir la crisálida a los capilares se ven desnaturalizadas de tal manera que su adherencia se ve reducida al punto en que un leve esfuerzo mecánico es suficiente para desprenderlas, al tiempo que perece la larva contenida en su interior (Gairí , Molina, Moraga, Viñallonga, & Baselga, 2012).

#### *Humedad*

La humedad presente en el ambiente durante la vida del piojo puede acelerar o ralentizar su desarrollo al verse conjugada con las condiciones de temperatura. El factor humedad también puede terminar por afectar el desempeño de diversos tratamientos, puesto que el cuero cabelludo mantiene una constante producción de grasa con el propósito de regular tanto su temperatura como la sudoración y ph del área en cuestión; por lo que un tratamiento incluyendo sustancias lipofóbicas en una cabellera grasosa resulta ineficiente, al igual que aquellos base agua (Gairí , Molina, Moraga, Viñallonga, & Baselga, 2012).

#### *Alimentación*

Inmediatamente tras eclosionar de la liendre, las ninfas comienzan su alimentación tomando un ritmo de 1 a 2 ingestas diarias de hemoglobina, manteniendo dicho régimen alimenticio por el resto de su vida. Ghaldi(2008) les considera parásitos obligados por el hecho de depender de su huésped para alimentarse, ya que no califican como depredadores en ninguna cadena alimenticia, viéndose relegados a la necesidad de permanecer en su huésped para alimentarse constante mente, de lo contrario enfrentan la inanición en un lapso de 48 horas en condiciones de laboratorio (Castillo, 2013).

# ALIMENTACIÓN

insectos hematófagos

selectivos con su comida perforación y de succión de la sangre de su huésped al perforar, el insecto secreta una toxina anticoagulante



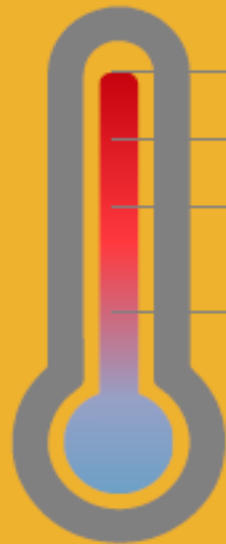
estudios sugieren que, es posible que ciertos alimentos o medicamentos, que alteran el olor o el sabor de la sangre provocan rechazo.

comen de 2 a 4 veces al día y tardan 30 minutos en ello



\* La sangre dura 4hrs a temperatura ambiente

# SUPERVIVENCIA



no soportan temperaturas mayores a 45°

28°C crecimiento rápido

27 ° C el crecimiento se alenta

12°C se detiene totalmente el crecimiento y la puesta de huevos

temperatura Ideal 28-32° C  
70-80% de humedad

\* en caso de fiebre llegan a abandonar al huésped



una hembra pone de 4 a 8 huevos diariamente

Sobreviven entre 24 y 48 hrs sin comer  
agujeros para respiración impermeables al agua.

Pueden soportar 5 minutos  
sin respirar (APNEA)

Ilustración 11 Infografía sobre características del piojo de la cabeza (fragmento) (Gutierrez 2018)

## Ciclo de infestación de la pediculosis

### *Contagio*

El método que utiliza el piojo para infestar nuevos huéspedes es mediante el contacto directo entre cabezas u objetos contaminados, dado que el parásito carece de apéndices u otros medios para migrar de hábitat más que desplazándose de medio a medio caminando o en su defecto trepando por entre los folículos entrelazados de los individuos.

Sin embargo, el contagio se puede dar (como se ha mencionado antes) por el contacto con un objeto portador refugiándose principalmente en textiles como lo son las prendas de vestir (gorras), ropa de cama y comúnmente en artículos de tocador (peines, cepillos y semejantes) utilizándolos como medio de transporte para infestar a un nuevo huésped (Gairí , Molina, Moraga, Viñallonga, & Baselga, 2012)

### *Desarrollo*

Una vez se ha concretado la migración de por lo menos una hembra preñada, un huésped puede tardar hasta dos semanas en mostrar síntomas, ya que se requiere de un número considerable de insectos para generar el prurito necesario para afectar al portador, de igual manera, las liendres iniciales vacías pasan desapercibidas por estar próximas a la base de los folículos siguiendo ocultos por varias semanas más hasta que el folículo crezca lo suficiente para evidenciarlas.

Una infestación exitosa se puede considerar al apreciarse por lo menos una liendre la cual pueda continuar con la parasitosis, por el contrario, una erradicación exitosa se proclama cuando no se perciben piojos, ninfas, ni liendres ocupadas por un periodo no menor a los 30 días siendo esta la duración máxima del ciclo de vida para el artrópodo.

Dentro del mismo periodo (en cualquier punto del mismo,) se puede propagar la parasitosis a un nuevo huésped, dando inicio a un nuevo ciclo. Se cree que es por esto que la contención de la epidemia resulta problemática, la eficiencia en su contagio y la facilidad de propagación al igual que el tiempo necesario para mostrar síntomas dificulta el brindar una respuesta temprana para evitar el desarrollo de la epidemia (López, 2008).

DÍAS	8	3-4	5	5	2-4	20-30
FASE	HUEVO	NINFA I	NINFA II	NINFA III	ADULTO	
	▲ PUESTA	▲ ECLOSIÓN	▲ 1.ª MUDA	▲ 2.ª MUDA	▲ 3.ª MUDA	▲ 1.ª PUESTA
						▲ MUERTE

Tabla 2 Etapas de desarrollo para un piojo en condiciones ideales (López, 2008)

#### Diagnóstico y tratamiento.

Un diagnóstico de pediculosis capitis se confirma con el avistamiento de cualquiera de los 3 estadios principales del piojo por lo que la presencia de cualquiera de sus síntomas por sí mismo no confirma o niega su padecimiento, pero aportan información a la hora de evaluar la severidad y tiempo transcurrido desde el contagio.

Como se ha mencionado con anterioridad, existe en México una guía (IMSS 2013) de procedimiento para afrontar la pediculosis (esto por su tendencia a evolucionar en epidemia) al igual que un algoritmo establecido para el diagnóstico y tratamiento de la misma, el cual permite diagnosticar de manera metódica el padecimiento.

El algoritmo de diagnóstico propuesto por el IMSS contempla dentro de sus parámetros la posibilidad de encontrar estirpes resistentes a los tratamientos recomendados; casos en los que recomienda el implemento de medicamentos alternativos, como el trimetropin con sulfametoxazol o el albendazol siendo estos típicamente implementados para el tratamiento de padecimientos diferentes a la pediculosis, pero que demuestran tener cierto grado de eficacia para tratar infestaciones que muestran resistencia a la permetrina.

Desafortunadamente, con el paso del tiempo, el aumento en la resistencia de los piojos a los tratamientos indicados dificulta el mantener actualizado el algoritmo de tratamiento. Esta misma situación, es la que propicia la aparición y perfeccionamiento de nuevos tratamientos, tales como el que se plantea en este documento, basado en la crioterapia y principios criogénicos.

Nombre genérico	Nombre comercial
<b>1. Piretroides naturales</b>	
a) Crisantemato 0,4%	Nosa champú antiparasitario, Nosa loción antiparasitaria
<b>2. Piretroides sintéticos</b>	
a) Permetrina 0,75%	Drecap champú antiparasitario y loción antiparasitaria
b) Permetrina 1%	Filvit-P loción capilar, Golbi champú antiparasitario, Golbi loción antiparasitaria, Nix crema, Filvit-P champú antiparasitario
c) Permetrina 1,25%	Quellada Permetrina champú antiparasitario
d) Permetrina 1,5%	Permetrin champú Unipharma, Permetrina 1,5% OTC loción gel, Permetrina 1,5 OTC champú antiparasitario, Permetrina 1,5% loción antiparasitaria
e) Permetrina 5%	Permetrina 5% OTC crema (indicado para escabiosis o formas resistentes de pediculosis), Sarcop
f) Fenotrina 0,2%	Antipio loción capilar antiparasitaria
g) Fenotrina 0,3%	Itax loción antiparasitaria, Itax champú antiparasitario, Mitigal plus loción antiparasitaria, Sarpex loción antiparasitaria, Elimvas loción antiparasitaria
h) Fenotrina 0,4%	Mitigal plus champú antiparasitario, Sarpex champú antiparasitario, Antiplox champú antiparasitario
i) Fenotrina 1%	Nosa loción, Nosa champú
<b>3. Asociación de piretroides y otros pediculicidas</b>	
a) Permetrina 1% + malathion 0,5% + butóxido de piperonilo	Parapius spray antiparasitario
b) Permetrina 0,3% + butóxido de piperonilo 1%	Kife-P, Permetrina 1,5% OTC crema
c) Bioaletrina + butóxido de piperonilo	Vapio antiparasitario
d) Fenotrina 0,3% + butóxido de piperonilo 2%	Cusitrin Plus loción antiparasitaria
e) Fenotrina 0,4% + butóxido de piperonilo 2%	Cusitrin Plus champú antiparasitario
f) Piretrin Isdin	Espuma antiparasitaria pediculicida: piretrinas naturales y butóxido de piperonilo
<b>4. Organoclorados</b>	
a) Lindano 1%	Kife-P champú antiparasitario, Kife gel antiparasitario, Kife-P loción antiparasitaria
b) Lindano 0,25%	Brujo loción antiparasitaria (contiene alcohol 70°)
<b>5. Organofosforados</b>	
Malatión 0,5%	Filvit loción antiparasitaria
<b>6. Carbamatos</b>	
a) Carbaril 0,25%	Filvit solución capilar 0,25% (colonia)
b) Carbaril 0,5%	Filvit champú
<b>7. Ácido acético</b>	
Ácido acético al 4%	Liberanit bálsamo capilar. Para ayudar a desecar las

Tabla 3 Medicamentos recomendados por el IMSS (México: Secretaría de salud, 2013)



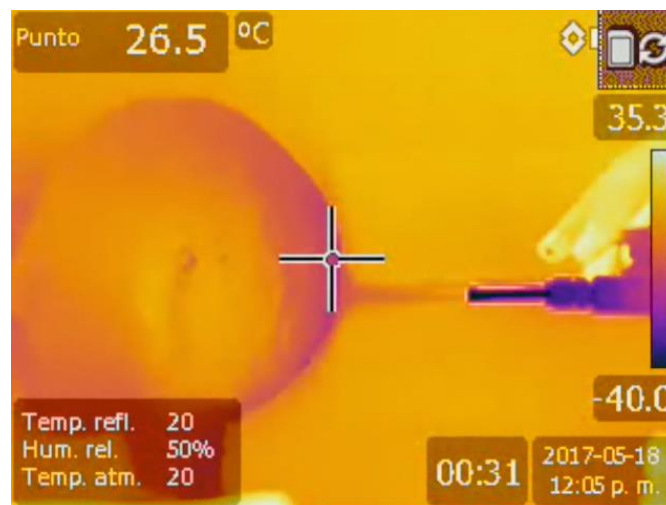
## Criogenia

### Crioterapia

De entre los tratamientos alternativos más recientes para la pediculosis destaca uno cuyo potencial resulta ser estudiado por la empresa Innovaciones Aplicadas en Pediatría (IAP). Esta investigación focaliza los efectos del frío aplicado como tratamiento (crioterapia) en la pediculosis, arrojando resultados prometedores.

La crioterapia aplicada como tratamiento para la pediculosis demostró ser efectiva tanto para la erradicación de los piojos como para la remoción de las liendres del cabello sin necesidad de preparativos ni de la implementación de agentes químicos tóxicos invasivos que pudieran afectar al paciente de manera negativa.

En primera instancia, el tiempo total del tratamiento se ve reducido a cuestión de minutos en lugar de horas; del mismo modo aplicado correctamente, la crioterapia puede neutralizar a la totalidad de piojos, ninfas y liendres en una sola exhibición, eliminando la necesidad de sesiones adicionales.



*Ilustración 12 Primeras pruebas de crioterapia con gases criogénicos sobre "dummy" (Elaboración propia 2018)*

En segundo lugar, al depender de un elemento físico para erradicar al parásito como lo es la temperatura, la resistencia que el artrópodo ha logrado generar ante las piretrinas y piretroides se vuelve inútil, mientras que el tiempo

necesario para que el insecto logre adaptarse y resistir las bajas temperaturas resulta mayor que ante uno químico.

#### Criogenia; oportunidad y brecha tecnológica

Tras la demostración del potencial de la crioterapia como un tratamiento excepcionalmente efectivo parece sorprendente el hecho de que no se encuentren dispositivos especializados para su aplicación en esta área. A pesar de que la crioterapia es ampliamente utilizada en el campo de la fisioterapia, el enfoque que se tiene en tal disciplina resulta ser inadecuado para el problema en cuestión.

Durante su investigación la empresa IAP concluyó que las técnicas de crioterapia convencionales no eran suficientes para hacer frente a la infestación, por lo que resolvió utilizar principios de criogenia. Este cambio en el enfoque de la investigación demostró ser el correcto, brindando los resultados mencionados con anterioridad. Al mismo tiempo, se determinó que la tecnología disponible actualmente no es la adecuada para desarrollar el tratamiento propuesto, por lo que en un inicio se desarrollaron equipos rudimentarios capaces de probar la factibilidad del tratamiento en casos de estudio con pacientes y situaciones reales.

Afortunadamente, el equipo desarrollado fue capaz de cumplir su cometido, pero demostró nuevamente que es requerido una mayor investigación en el campo, siendo esta una oportunidad invaluable para el desarrollo de tecnología y conocimiento.

De manera adicional, es bien sabido que el desarrollo de tecnología puede llevar a la creación de nuevos sectores de la industria y mercado, campos que actualmente requieren de un impulso en nuestro país

## Gases criogénicos

Como se ha propuesto con anterioridad, el tratamiento de la pediculosis capitis mediante técnicas que involucren los principios físicos de la criogenia, a modo de crioterapia han mostrado un gran potencial. Por lo que para el desarrollo de instrumental acondicionado para tan específico uso requiere del entendimiento y análisis de los principios y conceptos ya mencionados.

La criogenia como tal se puede entender como el conjunto de técnicas implementadas para reducir la temperatura de la materia a niveles por debajo del punto de ebullición del nitrógeno (77,36°K o -195,79°C). Teniendo como principal campo de aplicación la habilitación de superconductores los cuales solo pueden funcionar a temperaturas extremadamente bajas, usualmente por debajo de los -200°C.

Para lograr alcanzar las temperaturas mencionadas, se recurre a los llamados gases criogénicos, los cuales pueden ser clasificados a groso modo en 2 categorías, aquellos obtenidos mediante la destilación del aire atmosférico, así como aquellos procedentes de la petroquímica. Siendo el Nitrógeno (del primer orden) el predilecto para la mayoría de aplicaciones criogénicas (González Pérez, 2014).

## Crioterapia en otros ámbitos (fisioterapia)

Dentro del ámbito médico de la fisioterapia se encuentra la rama de la crioterapia, la cual se puede entender como el conjunto de técnicas aplicadas con el objetivo de brindar tratamiento primordialmente a lesiones y padecimientos físicos mediante la reducción de la temperatura de los tejidos musculares y adiposos en las zonas afectadas por periodos de tiempo variables

La crioterapia es ampliamente utilizada para el tratamiento de lesiones tisulares<sup>6</sup> por sus efectos anestésicos, vasoconstrictores<sup>7</sup>, así como la ralentización del metabolismo. Cabe resaltar que los efectos que provoca en el organismo van

---

<sup>6</sup> De los tejidos

<sup>7</sup> Que reduce el diámetro de los vasos sanguíneos

directamente relacionados a dos variables, el tiempo de exposición y la temperatura alcanzada.

Típicamente la crioterapia consiste en la aplicación de compresas frías en la zona afectada buscando disminuir la hinchazón característica de lesiones tisulares; en casos donde se requiere remover tejido dañado, lesionado o maligno la aplicación localizada de frío extremo puede resultar en un tratamiento exitoso (Albornoz & Meñoro, 2012)



*Ilustración 13 Ejemplo de uso de crioterapia para tratamiento de lesiones musculares*

**Efecto de temperaturas criogénicas sostenidas sobre metales y polímeros (latón, ABS y PLA)**

Para efectos prácticos de la presente investigación se requiere un conocimiento sobre el comportamiento de los distintos materiales que pueden llegar a ser utilizados en prototipos, modelos y productos futuros, producto de la presente. Dicho conocimiento abunda en cuanto a los metales se refiere, dado que estos han sido implementados ampliamente en la industria criogénica, química y metalúrgica (Molinari 2001).

Los efectos que tienen las bajas temperaturas en las estructuras moleculares de las diversas aleaciones metálicas son principalmente en su dureza, afectando de manera significativa la formación de grupos cristalinos homogéneos de un compuesto conocido como martensita; compactando los mismos en mega estructuras cristalinas tras haber sido sometidos a procesos de endurecimiento siendo sumergidos en sustancias como nitrógeno líquido.

Al igual que con el acero, los metales no ferrosos como el bronce, latón y cobre, demuestran un aumento de su dureza tras ser sometidos a tratamientos criogénicos, otorgándoles propiedades ideales para la transmisión de fluidos a alta presión y/o esfuerzos continuos tanto de desgaste como de fricción (Molinari 2001).

## Metodología

La pediculosis *capitis*, como cualquier otro padecimiento tratable y curable cuenta con un tratamiento estipulado para cada método certificado de curación, por esto mismo el Dr. Juan José Díaz Miranda fundador y director de la empresa Innovaciones en Pediatría Aplicada desarrollo un método para el tratamiento de la parasitosis en cuestión utilizando elementos de criogenia mediante el uso de nitrógeno líquido como un agente activo.

Este evento es el desencadenante de la presente tesis, puesto que al ser un tratamiento emergente se encuentran multitud de complicaciones, obstáculos al igual que áreas de oportunidad como se ha mencionado con anterioridad en el documento. Dentro de estas áreas de oportunidad, el diseño industrial aparece como una herramienta en extremo útil para enfrentar dichas deficiencias y oportunidades.

Un proceso de diseño invariablemente considera variables tales como: observación, análisis, síntesis, validación y mejora para su correcto desempeño. A diferencia del método científico ordinario, el método del diseño no se ve como un proceso lineal y rígido, sino como un desarrollo iterativo tan flexible como único.



*Ilustración 14 Metodología de diseño (Elaboración propia 2018)*

Teniendo en cuenta lo anterior, para comenzar el proceso de diseño el primer paso a tomar es el análisis de la situación, su contexto, variables, actores, limitantes y objetivos, por lo que un buen punto de inicio resulta ser el analizar a fondo la metodología desarrollada por el Dr. Díaz para dar su tratamiento emergente basado en criogenia.

### Análisis de Fondo, tratamiento y equipo.

#### *Secuencia*

Acorde a la experimentación realizada por el Dr. Díaz, se llegó a la conclusión de que el mejor resultado se obtiene al exponer a los insectos por un periodo de alrededor de tres segundos a un flujo constante de vapor de nitrógeno el cual se forma a consecuencia del hecho de que el nitrógeno líquido hierve a una temperatura superior a los menos ciento noventa y cinco grados centígrados. Dicha exposición al gas logra reducir la temperatura interna del insecto por debajo de los cero grados centígrados, punto en el cual se provoca su deceso ya sea en su estado larvario, ninfal o de completo desarrollo.



*Ilustración 15 Termo pistola  
(Elaboración propia 2018)*

Para lograr los efectos antes mencionados en pacientes portadores del parásito se implementa un dispositivo fabricado por un tercero el cual fue denominado hasta el momento como termopistola, la cual se puede apreciar en la Ilustración 15. Con dicho modelo funcional se llegaron a aplicar ráfagas discretas direccionadas al cuero cabelludo del paciente a la par de una manipulación y cepillado ligero, ya fuese con un cepillo común o utilizando la mano para abrir espacios en la cabellera permitiendo la penetración profunda del flujo gaseoso emitido por el modelo.

Tras una serie de ráfagas se procede a remover los remanentes de la infestación mediante el uso de una lendreras con la cual tanto piojos como ninfas y liendres pueden ser desplazados. Finalmente se procede a una revisión minuciosa del cuero cabelludo, asegurándose de haber eliminado a la totalidad de los organismos.

Posteriormente al tratamiento se realiza un seguimiento con duración de quince días para confirmar la erradicación del parásito; de no ser el caso se procede a una segunda aplicación. Cabe denotar que la permanencia del artrópodo por lo general es consecuencia directa de una técnica de aplicación deficiente y no por resistencia al tratamiento.

tratarse de un modelo funcional, la termo pistola presenta serias deficiencias en su función, ergonomía y semiótica<sup>8</sup> por lo que en primera instancia resulta necesario recopilar más información relevante acerca de dichos aspectos por parte de los usuarios directos del prototipo (quien aplica el tratamiento) indirectos (pacientes) y colaterales (piojos y ambiente).

#### *Observaciones de usuarios*

“La termo pistola resulta suficiente para probar la efectividad del tratamiento, pero a su vez evidenció la necesidad de realizar mejoras sustanciales tanto a la instrumentación como al proceso en sí” (Díaz 2018).

#### *Usuario Directo*

Los usuarios directos reportan primordialmente problemas ergonómicos, hacen mención reiterada de la dificultad para maniobrar el instrumento (termo pistola) al tiempo de “cepillar” o manipular al paciente. De igual manera la congelación que



*Ilustración 16 aplicación de nitrógeno en cuero cabelludo  
(Elaboración propia 2018)*

---

<sup>8</sup>Comunicación de valores y subjetividad de los objetos

ocurre en el exterior de la herramienta, en conjunto con la esporádica emisión de gotas de nitrógeno líquido que logra condensarse llega a provocar incomodidad o inclusive quemaduras de primer grado al entrar en contacto con la piel expuesta.

#### Indirecto

Los pacientes, en especial los infantes, señalan en su mayoría defectos en la semiótica del producto, la apariencia del mismo resulta intimidante al igual que lo súbito de su funcionamiento, puesto que las ráfagas de gas mantienen una alta presión a lo largo del tratamiento, lo que provoca un repentino sonido poco placentero (calificado de estridente incluso) que llega a desconcertar y/o atemorizar al paciente.

#### Colaterales (piojos y ambiente)

La termo pistola muestra una gran eficacia al momento de erradicar a los parásitos, más presenta varios inconvenientes, entre ellos se encuentra el abundante desperdicio de gas que es consecuencia de la alta presión y la falta de un sistema para regular la misma. Un problema derivado de esta cuestión es la propagación de los parásitos, ya que la fuerza con la que es expedido el gas logra arrojar a los insectos fuera del cuero cabelludo del paciente, llegando a infestar a otros individuos que se encuentren en la misma habitación propagando la epidemia.

#### Proceso de Diseño

##### Designación de parámetros

Conforme a las observaciones que fueron realizadas sobre la metodología experimental implementada por el Dr. Díaz se identificaron las principales áreas de oportunidad<sup>9</sup> tanto en el tratamiento como tal al igual que en el equipo implementado.

##### *Principio de forma y función*

Dentro de la disciplina del diseño industrial existen dos “escuelas” de pensamiento que pueden ser atribuidas en los inicios de esta a la escuela Bauhouse siendo estas

---

<sup>9</sup> Término utilizado en diseño para hacer referencia a situaciones, problemas, aspectos técnicos, etc. Que pueden ser mejorados



“LA FUNCIÓN SIGUE A LA FORMA” y “LA FORMA SIGUE A LA FUNCIÓN”. Cada una explicándose a sí misma hacen alusión a lo que debería de ser la variable rectora a la hora del diseño, si la función (uso, mecanismo, objetivos prácticos) o la forma (ergonomía, semiótica, objetivos subjetivos) (Bürdek & Bernhard, 1994).

Cada camino resulta diferente y en cierto modo hasta mutuamente excluyente, pero, como en el diseño mismo, resulta ser un proceso tan iterativo como cambiante, se puede alternar entre uno y otro dependiendo del objetivo planteado, buscando obtener un resultado balanceado donde cada elemento resulta el idóneo al interactuar en conjunto con el todo

Tomando en cuenta lo previamente discutido sobre la forma siguiendo a la función y viceversa, se plantea que la meta primaria del proceso de diseño para este proyecto sea la función, dado que el objetivo es un producto que cumpla con un propósito específico, ser una herramienta eficiente y funcional para realizar tratamientos para pediculosis capitis utilizando nitrógeno como agente activo.

Dado que el camino escogido para guiar la mayor parte del proceso de diseño resulta ser que la forma siga a la función, el primer punto a resolver sería el mecanismo responsable tanto de la correcta dosificación como aplicación del agente activo. Posteriormente se procedería a incluir criterios de forma para así lograr ajustar el producto a parámetros distintos a los de función.

### Diseño de Componentes

Cuando se enfrenta uno a problemas complejos, así como fuera del área de *expertise* propia resulta increíblemente útil fragmentar el problema en segmentos manejables de una complejidad menor, de manera que al resolver partes individuales de un todo, al unirlos paso a paso se termine por solucionar el problema inicial.

En vez de brincar directamente a una solución holística <sup>10</sup> donde se intenta llegar de golpe al producto final, se optó por analizar el objetivo planteado para

---

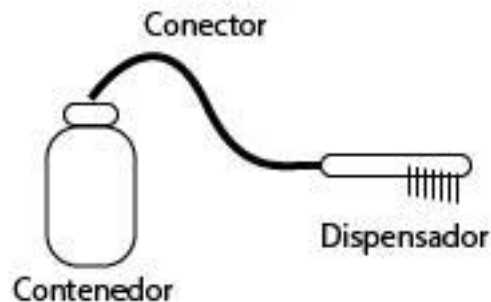
<sup>10</sup> Muchos puntos de vista

determinar el mejor camino a tomar. Para definir tal ruta resulta de utilidad el simplificar el problema hasta obtener sus componentes primordiales para posteriormente comenzar a construir sobre de esa información.

#### *Fragmentación del problema*

En esencia lo que se requiere es un instrumento que permita dispensar nitrógeno gaseoso de manera focalizada, con la menor cantidad de riesgos e inconvenientes para los involucrados, al tiempo de que resulte factible para ser manufacturado mediante procesos industriales para ser reproducido en masa teniendo como objetivo un producto comercial útil.

Siendo la aspersion del gas de manera segura la *función critica*<sup>11</sup> del producto, conviene resolver prontamente esta cuestión. Primeramente se requiere de tres componentes elementales, un contenedor donde almacenar el nitrógeno en estado líquido a la par del mismo en estado gaseoso, un elemento que haga la función de dosificador/dispensador que permita focalizar el tratamiento de manera eficiente; por último se requiere de un conector articulado y/o flexible que brinde tanto movilidad como adaptabilidad; todo esto teniendo en cuenta que cualquier fisura, terminara por producir una fuga de gas con lo cual se tendrían fallas críticas.



*Ilustración 17 Diagrama de elementos (elaboración propia 2018)*

---

<sup>11</sup> Requitito mínimo indispensable

Habiendo establecido los elementos base se procede a identificar los requerimientos de los mismos para comenzar a definir cada aspecto del producto, comenzando por definir una secuencia de funcionamiento deseada. En el caso específico de este trabajo se plantea la siguiente secuencia base

1. Llenado de contenedor
2. Sellado del contenedor
3. Liberación interrupción del gas
4. Aplicación del tratamiento
5. Mantenimiento

Teniendo en cuenta la secuencia de uso se procede a la asignación de requerimiento, proceso que por vez primera demanda el tomar en cuenta un gran número de aspectos que llegan a tener un impacto significativo en el diseño. Estos aspectos son, entre muchos otros, los materiales y su interacción entre ellos mismos, el ambiente, mecanismo, propiedad y fenómenos físicos involucrados, procesos de manufactura, etc.

#### [Análisis de función \(contenedor\)](#)

El contenedor deberá de poder soportar las bajas temperaturas que alcanza el nitrógeno líquido, al igual que las presiones generadas por su expansión al intentar lograr un equilibrio térmico cambiando a un estado gaseoso. Esta misma expansión, genera presiones tales que pueden causar fracturas en las paredes pudiendo causar una explosión repentina del recipiente, por lo que resulta imperativo contar con elementos de seguridad para evitar cualquier riesgo.

Posteriormente el contenedor tendrá que poder ser relleno de manera rápida y eficiente a través de un bloqueo hermético para regularizar y liberar en repetidas ocasiones el agente, evitando posibles efectos secundarios en la operación del sistema.

#### [Análisis de función \(dosificador\)](#)

En cuanto al dosificador se busca que permita la aplicación del gas lo más próximo posible al cuero cabelludo sin acusar quemaduras por frío. Una característica de

utilidad a considerar sería la inclusión de un elemento que separa los folículos capilares haciendo la función de una lendrera para efectos prácticos. De igual manera que el contenedor, el dosificador deberá poder soportar las bajas temperaturas alcanzadas por el nitrógeno atomizado, mientras que se evitan bloqueos y problemas por la congelación de la humedad del ambiente.

Así mismo el dosificador se propone que sea manejado directamente con la mano desprotegida por lo que el material con el que se tenga contacto deberá mantener una temperatura que de una sensación térmica mayor a los cero grados centígrados para evitar cualquier tipo de incomodidad que pueda afectar las habilidades del operador para brindar el tratamiento.

#### *Análisis de función (conector)*

En lo referente al conector se observan diversos requerimientos a cubrir para lograr cumplir con la función crítica del producto. Entre estas características se encuentra el que sea capaz de soportar un flujo continuo de nitrógeno líquido sin presentar fisuras, desgaste o rigidez significativa tras usos repetitivos. Adicionalmente se busca que dicho componente permita manejar, desplazar al igual que maniobrar libremente el dosificador si mayor dificultad.

#### *Validación y crítica de parámetros iniciales para función crítica*

Tras el primer análisis de forma se procede a una etapa de conceptualización preliminar, donde se busca plasmar y conjugar los requerimientos establecidos en dibujos técnicos y/o bosquejos para determinar configuraciones de elementos que resulten en una forma que cumpla lo mejor posible con las especificaciones y expectativas del cliente.

De primera instancia, el plasmar un mecanismo en dos dimensiones (dibujo) ayuda a su entendimiento al tiempo que permite hasta cierto grado validar las propuestas ya que desde esta parte del proceso de diseño se puede comprobar ciertas funciones y formas. Tras la elaboración de múltiples bocetos, probando diversas configuraciones se terminó por seleccionar la que cumpla con el mayor número de requerimientos, tomando en cuenta los aspectos ergonómicos y de función.

Siendo prioridad la función durante esta etapa del proceso de diseño, cada componente se resolvió de manera que se cumplieran los prerrequisitos tanto de ergonomía como semióticos, sin comprometer la función. La forma y materiales mantuvieron un lugar privilegiados, puesto que al requerir un desempeño perfecto en precarias condiciones, las estructuras escogidas en conjunto con la selección del material ideal, resultan en un prototipo ergonómico y eficiente.

Lo antes mencionado se puede apreciar en su totalidad en el componente más complejo (desde la perspectiva del diseño) que resulta ser el dispensador, el cual por los mismos parámetros establecidos con anterioridad toma como base un objeto de uso común que se relacionan con la tarea del tratamiento de la pediculosis, el peine.

#### *Accesorio dispensador (Peine)*

Como se puede apreciar en la Ilustración 22 el dispensador toma como punto de partida la forma básica de un cepillo o peine común utilizando un mango redondo. Aprovechando la forma simple y ergonómica a la mano que poseen estos objetos se cumplen los primeros requerimientos establecidos con anterioridad. Sin embargo, la parte medular del componente radica en la elección de materiales, así como en el mecanismo de acción que le permiten manejar el gas criogénico.

Para comprender el por qué del diseño de la pieza sirve el contrastar cada característica de la misma con los objetivos que se buscan alcanzar. Comenzando por la elección más simple de todas, el material. Como se ha mencionado con anterioridad, el manejo de gases criogénicos solo se puede lograr mediante el uso de instrumentos especializados, los cuales se fabrican principalmente con metales tales como el acero inoxidable, cobre, bronce o latón, por sus propiedades térmicas, facilidad de maquinado y/o dureza. Siguiendo esa línea de pensamiento se optó por el bronce, por ser un excelente conductor de calor al tiempo que no representa un problema a la hora de ser maquinado con herramental apropiado.

Con respecto al exterior del peine se optó por un polímero, concretamente el PLA dado que es capaz de resistir bajas temperaturas sin transmitir de manera eficiente el calor, evitando así incomodidad al manipularlo sin protección alguna por un corto periodo de tiempo dado que su estructura química no es higroscópica, lo que significa que no absorbe agua dentro de su estructura molecular impidiendo la generación de cristales de agua en su interior a la par que lo hace un pobre conductor de calor. Aunado a tales propiedades su formidable resistencia en relación con su peso, su flexibilidad y coste de producción lo hace un candidato ideal.

El peine, está compuesto por dos partes principales, la carcasa externa y un a espiga interna de cobre, cada una trabaja en conjunto con la otra para lograr su cometido. En seguida se explica a detalle cómo funciona cada “sección” que los compone y el porqué de su forma, obteniendo así una idea clara del diseño.

#### [Espiga de latón \(conducto principal\)](#)

En cuanto a la forma del alma de latón o espiga del peine, esta se diseñó de forma tal que se aprovechara al máximo cada sección del cuerpo exterior que la recubre. Tal como se puede apreciar en la figura # esta pieza es la parte medular del peine siendo una pieza integral que recibe el nitrógeno desde el conector, se ancla a las piezas de la carcasa y en su extremo libera el gas de manera controlada.

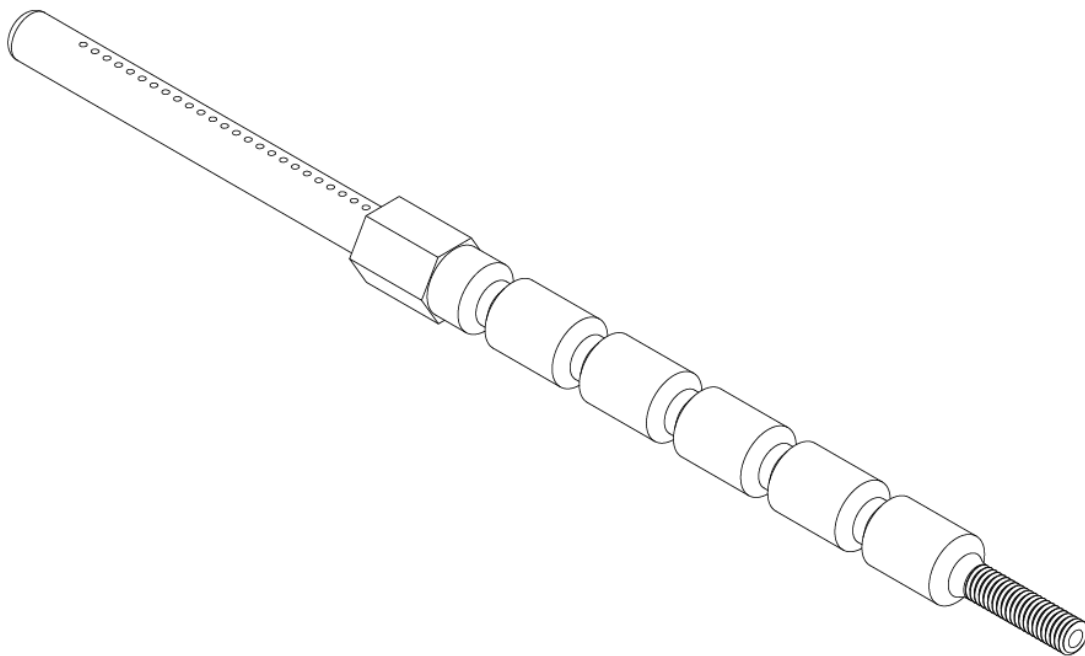
La decisión de utilizar la espiga de latón se debe a que en propuestas anteriores los métodos propuestos para la irrigación del gas se veían integrados por mecanismos que involucraban partes móviles y multitud de uniones las cuales invariablemente presentaban fugas al igual que bloqueos por congelamiento lo cual llevo a la búsqueda de un sistema que lograron canalizar el gas sin utilizar múltiples partes y por consiguiente eliminar cualquier elemento mecánico del mismo.

## Espiga de conexión



*Ilustración 19 Detalle. Espiga de conexión (Elaboración propia 2018).*

Ahondando en el diseño de la espiga se pueden distinguir claramente cinco secciones que lo componen como se ve en la figura#, Comenzando por la sección por la que se une al conectar se aprecia un patrón de espiga el cual sirve para anclar de manera hermética una manguera por la que circula en nitrógeno. Se optó por utilizar tal forma puesto que en previas pruebas con conectores hidráulicos las disparidades entre los coeficientes de dilatación provocaban que se zafaran las conexiones, no sin antes haber fugas considerables de gas. En cambio, al implementar esta forma estriada se logra asegurar la conexión a la vez que la misma disparidad en contracción juega a favor al aumentar la fuerza aplicada que mantiene el sello.



*Ilustración 18 Espiga de cobre (conducto principal, "core")(Elaboración propia 2018).*

### Rosca

Contigua a la espiga antes mencionada se encuentra una sección roscada de un diámetro mayor a la espiga para permitir que esta última pase por la tarraja que maquina dicha rosca. La función de esta sección es la de asegura la pieza de manera mecánica a la carcasa externa del peine brindando seguridad y estabilidad, adicionalmente se incorpora una tuerca achaflanada para bloquear el recorrido de la pieza en ambos sentidos.

### *Block chain*

Como parte principal de la espiga, esta sección representa una oportunidad para reducir el peso de la pieza a la vez que se aumente el área superficial de la misma con un patrón de muescas que permiten colocar y sujetar un aislante térmico ralentizando la transmisión de energía térmica que ocurre entre el gas, la pieza y el ambiente. El patrón escogido se escoge por ser el que mantiene el mejor equilibrio entre la integridad estructural de la pieza por la reducción de su masa en dichas secciones generando puntos débiles y el área superficial resultante. Diversas estructuras fueron sugeridas, probadas y validadas como se aprecia en la ilustración 14 cada una con una razón distinta entre ambos valores, más, tras las pruebas de concepto la estructura seleccionada demostró un desempeño superior.



*Ilustración 20 Sección "block chain" revestida de espuma EVA como aislante (Elaboración propia 2018).*



En cuanto al tema del aislante que se propone implementar para sustituir la masa retirada, se optó por utilizar espuma EVA comunmente conocida como *foami* puesto que mediante un proceso empírico se determinó que tal material lograba soportar sin dificultad alguna el choque térmico que genera el gas al igual que el metal al tiempo que su capacidad para impedir la transferencia de energía térmica resulto tal que se puede verter nitrógeno líquido en una lámina de este material de no menos de 2 mm de espesor que se encuentre en contacto directo con la piel si causar daño alguno a esta.

Aunado a su admirable desempeño como aislante, este material se puede obtener en una presentación moldeable, la cual puede adaptarse a cualquier forma deseada, y tras transcurrir un periodo de curación de 24hrs retendrá su forma manteniendo todas las propiedades que su contraparte espumada tiene, incluida su baja densidad, su impermeabilidad al igual que su resistencia.

#### Core Hexagonal

Contiguo a la sección del *block chain* se encuentra la parte más robusta de la espiga, un “core” hexagonal que sirve para alinear la pieza al eje central del peine al colocarse dentro de un anillo central que une los componentes exteriores. Al mismo tiempo posiciona la herramienta de manera tal que los orificios de salida del gas se ven alineados con la ranura existente en la carcasa exterior.

#### Cabezal

La parte final de la espiga tiene la función de atomizar e irrigar el nitrógeno mediante una serie de 24 barrenos que poseen un diámetro de 1/64 de pulgada, dispuestos de manera lineal comenzando a una distancia de 1.5 centímetros de la transición del core al cabezal como se puede observar en la ilustración 15.



Ilustración 21 Sección cabezal y “core” hexagonal (Elaboración propia 2018).

### Carcasa exterior

El peine, para cumplir su función principal requiere que todas sus partes funcionen en conjunto por lo que la carcasa exterior se diseñó a la par de la espiga interior, terminando con un *set* de piezas que se conjugan a la perfección, interactuando unas con otras para lograr su cometido, contener y dirigir un gas criogénico de manera tal que no represente un riesgo ni para el usuario directo ni para el indirecto.



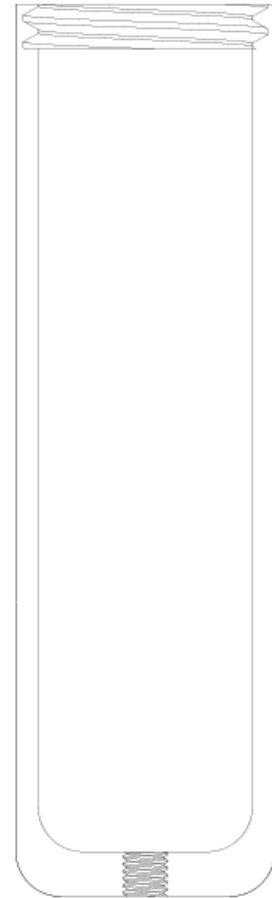
*Ilustración 22 Carcasa exterior del peine. (Elaboración propia 2018).*

Dicha carcasa se compone de 4 secciones principales las cuales se pueden describir como un cabezal un anillo central, una peineta y finalizando con el mango de sujeción. Tal como se ha referido con anterioridad, esta carcasa debería de actuar como un medio aislante entre el gas y la piel del usuario, por lo que como se especificó con anterioridad el material del cual se fabricaría sería el PLA, ya que cumple con los criterios establecidos. Como consecuencia de esto el diseño de su forma tomó en cuenta los procesos de manufactura factibles para tal material (inyección de plástico e impresión 3D), lo cual ofrecía cierto grado de libertad en cuanto a formas y acabados posibles de obtener.

### Mango

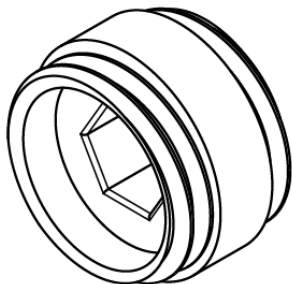
Siendo la pieza por la cual será manipulado por el usuario se buscó mantener una forma ergonómica, que redujera en la medida de lo posible la fatiga al usarlo, mientras que permitiera ser utilizado indiscriminadamente por usuarios tanto diestros como zurdos, requiriendo que su estructura tuviera una simetría axial.

A demás de ser un elemento ergonómico, como se menciona con anterioridad, en su base se realizó un barreno al cual se le maquinó una cuerda mediante un machuelo permitiendo roscar la espiga de bronce por lo que esta pieza se convierte en el primer punto de anclaje entre ambos componentes. Cabe destacar que el diámetro escogido para su estructura es tal que mantiene una distancia de entre 1 y 1.3 cm entre la pared interna del mango con respecto a la superficie de la espiga por lo que se encuentra un “colchón” de aire que actúa como barrera térmica ayudando a mantener una sensación térmica aceptable en la superficie del polímero.



*Ilustración 23 Corte transversal de sección, mango (Elaboración propia 2018).*

### Anillo central

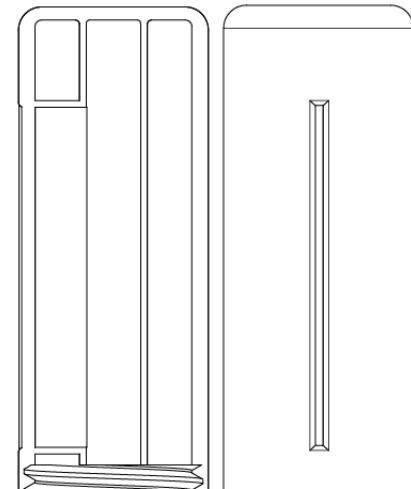


*Ilustración 24 Anillo central. (Elaboración propia 2018).*

Este cople hace la función de punto de anclaje para las dos piezas restantes de la carcasa, al igual que soporta al tiempo que marca un punto de referencia para el “core” hexagonal de la espiga central. Se fija por ambos lados mediante una rosca m27 a 3 hilos lo cual resulta suficiente para asegurar una conexión sólida y medianamente hermética, aún a pesar del encogimiento que sufre por estar en contacto directo con el bronce.

### Cabezal

Continuando con las diferentes secciones de la carcasa exterior se encuentra el cabezal, el cual cumple la función de contener y direccionar el gas proveniente de la espiga. Al ser mayormente hueco se genera una barrera térmica propiciada por el aire encapsulado, evitando la congelación de la pared externa al tiempo que focaliza el gas emitido por el alma de latón mediante una estructura interna similar a una funda la cual rodea en su totalidad al *core*, la cual a su vez se conecta a la parte exterior por unas paredes que focalizan el flujo del gas al exterior por una rendija que aprecia al final de esta parte.

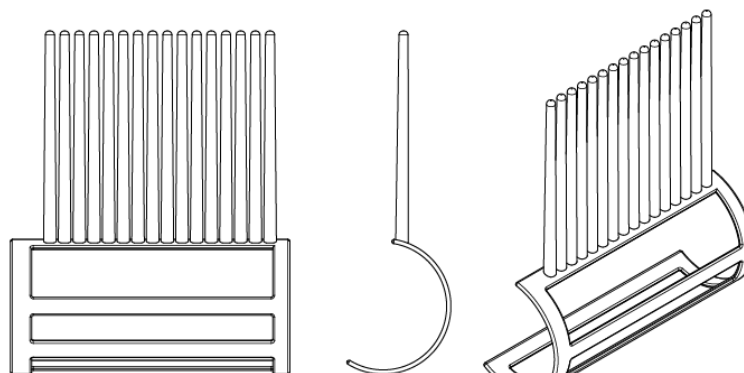


*Ilustración 25 Corte transversal del cabezal junto a vista frontal. (Elaboración propia 2018).*

Es gracias a la estructura del cabezal que el nitrógeno es emitido de manera suave y controlada, puesto que de no existir esta cámara de concentración que es el cabeza el gas generaría gran cantidad de cristales de hielo, bloqueando los barrenos presentes en el *core*, nulificando su función.

### Peineta

Por último, el cabezal cuenta con una peineta de cerdas solidas con forma cónica. Dichas cerdas cumplen la misma función que en un peine tradicional, peinar el cuero cabelludo, exponiendo brevemente la base de los capilares al gas de nitrógeno, acción con la cual se erradica a los parásitos. Lo interesante de este componente, es que resulta ser un cuerpo totalmente independiente de la carcasa externa, al



*Ilustración 26 Peineta intercambiable, Vistas generales. (Elaboración propia 2018)*

sujetarse mediante un sistema de pinza a presión por su geometría y material (PLA), aspecto que abre la puerta al posterior desarrollo de diferentes peinetas en el futuro, peinetas que se podrían adaptar a los casos emergentes expandiendo la utilidad del dispositivo, así como su vida útil.

#### *Contenedor para nitrógeno líquido portátil*

Continuando con la descripción del sistema, el siguiente componente fundamental es el contenedor, el cual como se especificó anteriormente debería de cumplir con ciertos requerimientos de seguridad. Dicho contenedor fue encomendado a la empresa externa por parte IPA el cual fue diseñado enteramente por su parte, principalmente como un componente de la termo pistola original, pero que resultó ser de utilidad para el sistema propuesto al implementar ligeras modificaciones.

#### *Conector*

Como último componente general del sistema se encuentra un conector flexible que en esencia se trata de una manguera diseñada para soportar el flujo de un gas criogénico, al tiempo que cumple diversos objetivos como lo son el evitar la formación de escarcha o congelamiento significativo que reduzca la flexibilidad del componente en sí. De igual manera el conector debería de tener un peso relativamente ligero, de una masa tal que permitiera su manipulación a una sola mano por un usuario adulto sin que esté presente fatiga por su uso en un periodo menor a 30 minutos.

Adicionalmente, en la actualidad no se encuentran disponibles mangueras criogénicas con tales especificaciones de manera comercial, mientras que las existentes son (prácticamente en su mayoría) fabricadas con entramados de acero inoxidable y materiales compuestos como kevlar y poliamidas especializadas, por lo que el diseño de este componente, al igual que los anteriores representa un reto de diseño por sí sólo.

Para lograr los objetivos antes mencionados, se propone un conector bastante simple. Aprovechando las características de la espuma EVA la cual funciona como un aislante térmico eficaz, flexible y ligero aún después de alcanzar temperaturas gélidas en las cuales otros materiales aislantes se rigidizan como es

el caso de las siliconas. El conector propuesto se compone de dos componentes principales, el conducto principal y un recubrimiento de espuma EVA.

#### Conducto principal

Como componente principal del conector, esta pieza resulta ser un ducto plástico especializado para uso hidráulico, el cual dirige a la vez que contiene el gas de manera eficaz de un punto a otro sin mayor complicación, siempre y cuando no se encuentre expuesto a humedad ya que ésta al condensarse rigidiza la pieza inhabilitando el sistema completo. Es por esta eventualidad que se requirió de un componente aislante que previniera dicha situación si comprometer la flexibilidad ni ligereza del sistema.

#### Recubrimiento aislante

Para solucionar el problema de la congelación, como se mencionó previamente, se recurrió a la espuma EVA la cual tras diversas pruebas demostró ser un aislante idóneo para el trabajo, puesto que al ser expuesta al nitrógeno líquido no presentaba mayor rigidez que la normal, mientras mantenía una sensación térmica al tacto tal que resultaba tolerable el manipularla sin protección alguna inmediatamente después de ser sumergida por completo en el líquido criogénico.



*Ilustración 27 prueba de recubrimiento trenzado de espuma EVA, (elaboración propia 2018)*

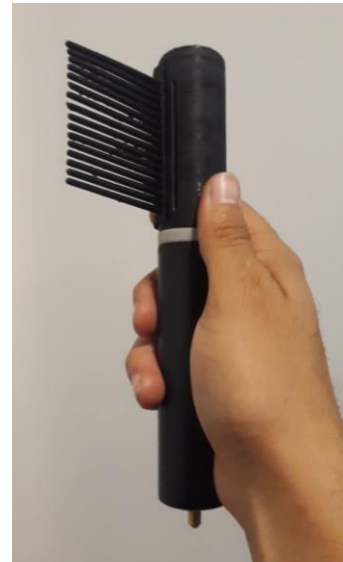
Implementado en el conector como un aislante se para hacer una manga que recubriera en su totalidad al ducto, manteniéndola en contacto directo con las paredes del mismo. De esta manera la espuma mantiene la humedad en el exterior evitando el problema de la rigidez provocada en el conducto interno por el flujo del gas criogénico.

## Pruebas

El dispositivo cumple con su función crítica, que resulta ser el uso de nitrógeno líquido (elemento criogénico) mientras que su forma permite ser utilizado por una sola persona sin ningún esfuerzo, pudiendo desplazarse inclusive con el de habitación en habitación con facilidad por el tamaño y el peso del sistema completo

Adicionalmente, se realizaron múltiples pruebas con el dispositivo para comprobar tanto su funcionamiento (factor primordial analizado para cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados) como su efectividad al ser utilizado como herramienta para la aplicación del tratamiento contra la pediculosis capitis a base de nitrógeno líquido

En la Ilustración 28 se puede apreciar la escala del dispositivo en comparación con la mano de un usuario promedio (para asegurar una empuñadura ergonómica se consultaron los escritos sobre el tema realizados por Charand y Prado (2007) la cual logra un agarre cómodo, el cual permite una maniobrabilidad del mismo con un amplio rango de movilidad sin que resulte incómodo. De igual manera el peso total del dispositivo (sin contar el contenedor, ya que este se ve sujetado por un arnés) se encuentra en un total de 237 gramos, lo cual mantiene la fatiga experimentada durante la sesión en niveles aceptables



*Ilustración 28 Escala humana del peine. (elaboración propia 2018).*

De igual manera, durante las pruebas se pudieron apreciar los efectos que provoca el flujo del gas sobre la carcasa del peine, la cual a pesar de mostrar signos de congelamiento resiste satisfactoriamente tras múltiples ciclos de aplicación. Inclusive se sometió el componente completo a un baño en nitrógeno líquido para determinar si sería afectado de manera negativa por un

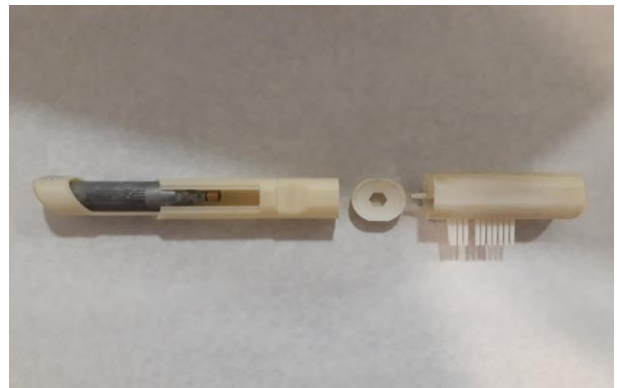
uso prolongado; tras una inmersión completa con una duración de 30 segundos se extrajo el componente el cual no presento ningún daño perceptible.

Adicionalmente, a pesar de que se formó una capa de escarcha por la congelación del agua presente en el ambiente, esto no se tradujo en incomodidad para el usuario quien interactuó con el inmediatamente después de la extracción sin ningún equipo de protección adicional demostrando así la seguridad del dispositivo ante posibles fugas internas, puesto que el material utilizado provee una barrera protectora eficaz contra el cambio de temperatura.

## Evolución del prototipo

### Primer modelo funcional

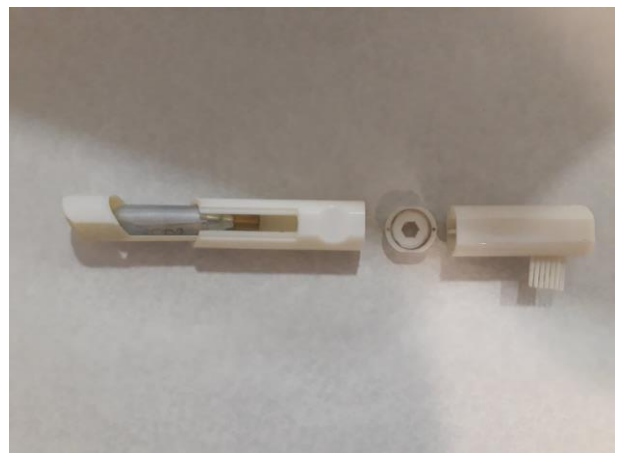
Uso de cartuchos recargables para almacenar nitrógeno líquido y uso de peineta hueca. Mostró complicaciones tanto mecánicas como estructurales.



*Ilustración 29 Primer modelo funcional (Elaboración propia 2018)*

### Segundo modelo funcional

Ajuste de tolerancias e implementación de válvula de paso de diseño propio. Presentó fallas mecánicas y estructurales. La presión interna del gas sobrepasaba la fuerza de los anclajes utilizados para unir las piezas





*Ilustración 30 Segundo modelo funcional (Elaboración propia 2018)*

### Tercer modelo funcional

Rediseño de sistema de sujeción y recarga de cartuchos. Primeras pruebas para reemplazar los cartuchos por el core de latón, así como la introducción del termo tanque y el conector. Primera iteración que se ensambla mediante elementos roscados. Elimino fallas estructurales, primeras pruebas exitosas.



*Ilustración 31 Tercer modelo funcional (Elaboración propia 2018)*



*Ilustración 32Cuarto modelo funcional (Elaboración propia 2018)*

### Cuarto modelo funcional, modelo final

Carcaza externa de tres piezas roscadas, peinetas independientes, uso de core de latón. Se complementa con termotanque y conector. Problemas estructurales y de función resueltos.

## Conclusiones y resultados

Tras múltiples pruebas, se llega al producto que previamente se ha descrito a detalle, un dispositivo médico portátil para el tratamiento de la pediculosis capítis el cual utiliza gases criogénicos como agente activo. Sin embargo, el resultado obtenido da pie para continuar desarrollando tanto el dispositivo en sí como la tecnología en la que se basa.

Cada componente, así como las diversas partes que lo integran demuestran trabajar en conjunto de manera tal que el tratamiento puede ser aplicado más es necesario aclara que por si solo no logra eliminar por completo la infestación puesto que la habilidad de los parásitos para reaccionar a los cambios de temperatura les permite huir. Por lo anteriormente dicho, se concluye que el dispositivo resultado de esta tesis no cumple por si solo el cometido de eliminar la infestación.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado resulta evidente el apoyo de un sistema mayor que logre erradicar al paracito sin margen de error. Afortunadamente, dicho sistema ya se encuentra en desarrollo al día de hoy, por lo que futuras pruebas complementarias podrán dar un resultado positivo a la hipótesis planteada con anterioridad.

## Bibliografía

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2018, enero 27). *ATSDR en Español*. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov>
- Albornoz, M., & Meñoro, J. (2012). *Procedimientos generales de fisioterapia*. Elsevier.
- Bentley, A. (2015, Septiembre 8). Head lice cause more stress than harm. *The orange county register*.
- Bürdek, & Bernhard, E. (1994). *Diseño: historia, teoría y práctica del diseño industrial*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Castillo, D. A. (2013, Noviembre 1). Pediculosis y Ftiriasis. *El Informe de David*, pp. 104 - 105.
- Cummings, C., Finlay, J. C., & MacDonald, N. E. (2018). *Head lice infestations: A clinical update*. Ottawa : Canadia Paediatric Society.
- Fundación Mexicana para la Dermatología. (2017, noviembre 2). *FMD*. Retrieved from [fmd.org.mx](http://fmd.org.mx)
- Gairí, J., Molina, V., Moraga, F., Viñallonga, X., & Baselga, E. (2012). Pediculosis de la cabeza. *Asociación Española de Pedriatría*, pp. 55-65.
- González Pérez, R. (2014). *Criogenia: Cálculo de equipos, Recipientes a presión*. Días de Santos.
- Herranz, J., & Abad, I. (2008, abril-junio). Peduculosis de la cabeza. *Pediatría Atención Primaria*, pp. 75-96.
- Josep, L. (2008). Evidencia científica de la hidroterapia, balneooterapia, termoterapia, crioterapia y talasoterapia. *Medicina naturista*, 29-41.
- La jornada. (2018, abril 17). *La jornada*. Retrieved from <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/salud/20956-disenan-casco-para-eliminar-piojos>
- Lazo Araya, W. (2015). *Insectos de Chile: atlas entomológico*. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias.
- Leloir. (2008). *Fundamentos de Biomecánica Articular*. Buenos Aires: Leloir.
- López, S. (2008). *Guía proactica para el control de piojos*. Sevilla: Junta de Andalucía Consejería de Salud.
- MAPFRE. (1990). *Vibraciones de Herramientas Manuales y Prevención de Lesiones Traumáticas por Repetición*. Bogotá: MAPFRE.

- Menrique-Saide, P., Pavía Ruiz, N., Rodríguez-Buenfil, J., & Herrera Herrera, P. (2011, Noviembre). Prevalence of Pediculosis capitis in children from a rural school in Yucatan México. *Revista Institucional Medica Trop. Sao Paulo*, pp. 325-327.
- México: Secretaria de salud. (2013). *Diagnóstico y tratamiento de Pediculosis capitis en escolares adolescentes*. Ciudad de México: CENETEC.
- OMS. (1999). *Modelo OMS de información sobre prescripción de medicamentos para enfermedades cutáneas*. Ginebra: OMS.
- Panero, J., & Zelnik, M. (2014). *Human dimension and interior space*. New York: Watson-Guptill.
- perez, i. (2018, abril 13). *conacytprensa*. Retrieved from Conacyt:  
<http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/salud/20956-disenan-casco-para-eliminar-piojos>
- Ribera, I., Melic, A., & Torralba, A. (2015). *Introducción y guía visual de los artrópodos*. Aragón.
- Rosso, R. P., Ramírez, S. M., & Rorres, M. (2003, v 20). Pediculosis capitis: Available therapies. *Revista Chilena Infectol*, pp. 111-116.
- UAQ Noticias. (2018, octubre 8). *UAQ Noticias*. Retrieved from  
<http://noticias.uaq.mx/index.php/vida/2140-en-uaq-ilustran-con-acuscopio-musica-para-personas-sordas>