

Lámpara de fototerapia LED de elaboración propia y su uso para el tratamiento de ictericia, comparada con otras tecnologías

Handmade LED phototherapy for the treatment of jaundice compared with other technologies

Jorge Villarreal, Paola Vélez

Abstract— Phototherapy is the treatment indicated for the management of neonatal jaundice. There are different technologies to provide this treatment, including LED devices. For this study, an LED phototherapy lamp is developed for neonatal jaundice. Its efficacy is compared with other devices by measuring the speed at which it reduces bilirubin levels. This lamp is built with an LED light source composed of a 15×25 LED array that generates 460nm. This device is characterized by a very compact source of low energy consumption, long duration, and low cost. The results are comparable with industrial manufacturing devices but are less expensive and, therefore, more efficient regarding health costs.

Index Terms—Phototherapy, jaundice, LED

Resumen—La fototerapia es el procedimiento indicado para el manejo de la ictericia neonatal. Existen diferentes tecnologías para proporcionar este tratamiento, entre ellas los dispositivos LED. Para este estudio se elaboró una lámpara de fototerapia con tecnología LED para uso en neonatos con ictericia y se comparó su eficacia con otros dispositivos midiendo la velocidad en la reducción de los niveles de bilirrubina. Esta lámpara se construyó con una fuente de luz LED compuesta por una matriz de 15 x 25 LEDs que genera 460 nm; este dispositivo se caracteriza por ser una fuente muy compacta, de bajo consumo energético, de larga duración y de bajo costo. Los resultados obtenidos fueron comparables con dispositivos de fabricación industrial, pero al ser de elaboración propia resultó ser menos costosa, por lo tanto más eficiente en términos de costos en salud.

Palabras Claves—Fototerapia, ictericia, LED

I. INTRODUCCIÓN

LA ICTERICIA es la coloración amarilla de la piel y mucosas producida por el depósito de bilirrubina en la piel; alrededor del 50% de los recién nacidos a término y el 80% de los prematuros desarrollan ictericia, la cual aparece generalmente entre los 2 y 4 días de vida. Cuando los niveles

de bilirrubina son muy elevados, pueden causar neurotoxicidad, con encefalopatía aguda o crónica, que se manifiesta clínicamente como retraso del desarrollo, sordera y convulsiones [1].

La fototerapia es el tratamiento de elección para reducir la gravedad de la hiperbilirrubinemia neonatal, independientemente de su etiología [2]. La fototerapia reduce los niveles de bilirrubina al transformar la bilirrubina en isómeros hidrosolubles que pueden ser eliminados sin conjugarse en el hígado [3].

Como todo tratamiento, la implementación de fototerapia está basada en directrices existentes fundamentadas en evidencia lo que promueven su uso más seguro y eficaz.

El uso óptimo de la fototerapia se ha definido por rangos específicos de umbrales de bilirrubina sérica total ajustados para la edad del recién nacido (en horas) y el riesgo potencial de neurotoxicidad por bilirrubina [2]. Es así que la eficacia de la fototerapia en el tratamiento de la hiperbilirrubinemia está influenciada por la longitud de onda de luz usada, la intensidad de la fuente de luz, el total de dosis lumínica recibida (tiempo de fototerapia, porcentaje de piel expuesta) [3].

La fototerapia efectiva implica su uso en longitudes de onda de luz azul específica (emisión máxima, $450 \pm 20\text{nm}$) y espectro de emisión (rango, 400-520nm), preferiblemente en un ancho de banda estrecho que se administra a una irradiación de $\geq 30\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ hasta un 45% de la superficie corporal del niño [2]. Sin embargo, esto a menudo no es factible en entornos clínicos con recursos limitados en los que generalmente se usan fototerapias de confección propia para proporcionar este tratamiento, pero estas deben cumplir con los estándares establecidos para así conseguir el objetivo final: evitar la neurotoxicidad [4].

Los costos de proporcionar cuidados intensivos o especiales para los recién nacidos con ictericia podrían ser prohibitivos, después del cuidado de los niños prematuros en los países de bajos recursos [5]. La Organización Mundial de la Salud mantiene un valioso compendio de tecnologías innovadoras y de bajo costo, incluidos los dispositivos de fototerapia recomendados para los países de ingresos medios, sin embargo, cualquiera sea la fuente de luz, la efectividad de los

J. Villarreal, Jefe de Mantenimiento, Hospital Homero Castanier Crespo, Azogues, Ecuador. Estudiante Maestría Ingeniería Eléctrica CUJAE, HABANA, CUBA (e-mail:jorgevillarreal89@hotmail.com).

P. Vélez, Pediatra, Hospital Homero Castanier Crespo, Azogues, Ecuador. Docente Universidad del Azuay (e-mail: piovp@yahoo.com.mx).

dispositivos de fototerapia puede verse comprometida por un suministro de energía errático, exposición inadecuada de la piel por hacinamiento con múltiples bebés colocados bajo un solo dispositivo, niveles de irradiación subóptimos y mantenimiento deficiente del equipo [6]. Por estas razones, el desarrollo de dispositivos de fototerapia asequibles y económicos, así como medidas simples como monitorizar la intensidad de la luz, cambiar los bulbos y celdillas regularmente y reducir la distancia entre el niño y las lámparas, puede mejorar la efectividad de la fototerapia [7].

Los tubos fluorescentes o lámparas halógenas se han utilizado como fuentes de luz para la fototerapia durante muchos años. Un diodo emisor de luz (LED) es un tipo de fuente de luz más nueva que es eficiente en el consumo de energía, tiene una vida más larga y es portátil con baja producción de calor y son tan efectivos como otras fuentes de luz para disminuir la hiperbilirrubinemia, pero tienen ventajas especiales en los países de bajos y medianos ingresos como el Ecuador [8].

En varios estudios realizados sobre la eficacia de la fototerapia con LED en comparación con la fototerapia convencional (sin LED), se ha observado que la fototerapia con LED era eficaz para reducir los niveles de bilirrubina total sérica, a tasas similares a la fototerapia con fuentes de luz convencionales [9].

En un estudio prospectivo en recién nacidos a término que comparó la efectividad de fototerapia convencional versus LED demostró que la duración media de la fototerapia en el grupo LED fue significativamente menor que en el grupo de fototerapia convencional (10 horas). Del mismo modo, la tasa de caída de los niveles séricos de bilirrubinas a las 6, 12 y 18 horas fue significativamente mayor en el grupo LED que en el grupo convencional [10].

En un estudio realizado en niños pretérmino de 33 a 36 semanas de gestación se demostró que los dispositivos de luces LED son más efectivos que la fototerapia con tubos fluorescentes en los niños pretérmino para reducir la hiperbilirrubinemia indirecta, se considera además la menor frecuencia de eventos adversos, menos consumo de energía y menor costo de la terapia [11].

En síntesis, la fototerapia con tecnología LED es más efectiva que la fototerapia convencional al reducir el número de horas de tratamiento requerido en los recién nacidos a término y pretérmino, por lo tanto reduce el tiempo de estancia hospitalaria y con ello los costos en salud [1].

La dosis de fototerapia, llamada irradiancia, determina su efectividad. La medición se realiza en microwatts (μW)/ cm^2 de la superficie corporal del área expuesta / nanómetros (nm) de la longitud de onda. La irradiancia depende del tipo de luz utilizada, la distancia entre la luz y el paciente, y el área de la piel expuesta [12].

Para garantizar la efectividad de la fototerapia es necesario monitorizar el nivel de irradiancia emitido por el equipo, sin embargo esa es una práctica poco usual en las unidades de neonatología. En un estudio realizado en 2016, los niveles de irradiancia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$), fueron medidos semanalmente con el dispositivo BiliBlanket® II Meter en fototerapias de tubos

fluorescentes y fototerapias LED en un periodo de 19 semanas. Los dispositivos LED mostraron niveles de irradiancia estables que no requirieron el cambio de ninguna lámpara, pero los dispositivos convencionales sí declinaron su irradiancia y requirieron el cambio completo de lámparas a las 5-6 semanas [13].

En el Ecuador la ictericia neonatal ocupa el segundo lugar dentro de las 10 primeras causas de morbilidad en niños menores de 1 año con una tasa de 220 niños afectados por 10000 niños menores de 1 año; en noveno lugar se ubica la enfermedad hemolítica del recién nacido, causa importante de ictericia, con una tasa de 78 por 10000, precedido en el quinto lugar por la prematuridad (tasa de 133 por 10000), que en muchos casos también presentan ictericia [14].

El Hospital Homero Castanier Crespo de la ciudad de Azogues es un hospital general perteneciente al Ministerio de Salud Pública de Ecuador, de referencia provincial, dispone de la unidad de Neonatología que cuenta con 12 camas para ingresos de niños de 0 a 28 días, con un promedio de ingresos anuales de alrededor de 600 pacientes, de los cuales 50% ingresan por hiperbilirrubinemia y necesitan fototerapia. Al momento la Unidad de Neonatología dispone de dos lámparas de fototerapia con tubos fluorescentes y dos dispositivos de fototerapia con tecnología LED de comercialización industrial.

Por todo lo expuesto se puede inferir que al optimizar los equipos para proporcionar fototerapia se consigue mejorar los días de estadía y por lo tanto los costos en salud asociados a ictericia. Es así que se hace necesaria la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al campo de la salud, aprovechar si se dispone de los recursos tecnológicos para elaborar dispositivos propios que cumplan con los niveles de calidad recomendados y a un menor costo.

En este trabajo se propuso elaborar un dispositivo propio de fototerapia LED que cumpla con las especificaciones técnicas necesarias para el tratamiento de la ictericia neonatal y que sea comparable en términos de eficacia con otros dispositivos de elaboración industrial.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En las diferentes unidades de neonatología aún se usan lámparas de fototerapia con tubos fluorescentes azules, cuyos repuestos no se encuentran con facilidad en el mercado y algunas de ellas no cuentan con las características técnicas necesarias [15]. El Hospital Homero Castanier Crespo no es la excepción, esto dio paso a la posibilidad de diseñar un sistema de fototerapia con tecnología LED que permita el tratamiento de la hiperbilirrubinemia y cuyos resultados en función a la efectividad en el paciente sean comparables con las fototerapias LED comercializadas en el mercado.

Este dispositivo de fototerapia fue elaborado en el Departamento Técnico del Hospital Homero Castanier Crespo y el seguimiento de la evolución de la hiperbilirrubinemia neonatal fue realizado por un especialista en Pediatría de la misma institución.

Para el diseño de la lámpara se tomó en cuenta las especificaciones técnicas necesarias para cumplir con la efectividad del tratamiento de la ictericia (ver Tabla I) [16].

TABLA I
 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EQUIPOS DE FOTOTERAPIA PARA
 ICTERICIA NEONATAL

Requerimiento	Valor establecido
Longitud de onda	450-500nm
Irradiancia	30 μ W/cm ² /nm
Área iluminada	alrededor de 700cm ²

Como fuente de luz una placa con LEDs de alta potencia color azul, los mismos que emiten un espectro de luz entre los 440 a 500nm de longitud de onda necesaria para el objetivo de tratamiento de la ictericia (degradar la molécula de bilirrubina), como se observa en la Fig. 1.

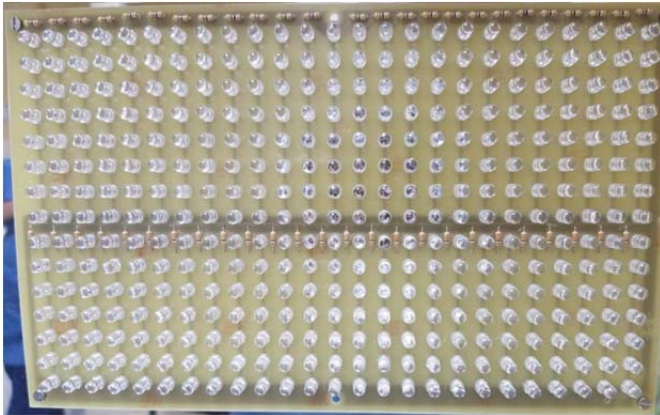


Fig. 1. Placa de fototerapia con lámparas LED elaborada por los autores.

Se calculó el número de LEDs necesarios para generar los parámetros requeridos para suministrar fototerapia. La ecuación con la que se describe la iluminación generada por la fuente de luz (cada LED irradia un área determinada) y obtener un cálculo aproximado para alcanzar especificaciones mínimas del equipo es la siguiente [16]:

$$E = \frac{I \cos(\theta)}{R^2} \quad (1)$$

Donde E es la iluminación en lux, I es la intensidad de luz (cd), $\cos(\theta)$ es el ángulo generado entre la fuente de luz y el área irradiada y R es el radio entre la fuente de luz y el área irradiada.

En la Fig. 2, se presenta un modelo generado por computadora de la iluminancia generada por el LED con aperturas de 0 a 180 grados; con la aplicación de la ecuación antes descrita y luego de revisar las características de diferentes tipos de LEDs se determinó que el uso de los LEDs de alta potencia cubre un rango de 140° garantizan la correcta distribución lumínica necesaria para aplicar fototerapia efectiva [16].

Para contar con una correcta distribución del flujo luminoso y con los cálculos realizados mediante (1) se determinó que la placa requiere de 375 LEDs. Estos LEDs fueron distribuidos en una matriz 25x15, y esto a su vez dividido en 5 submatrices de 5x15 para el correcto control de la excitación de cada uno de los LEDs, lo cual se representa esquemáticamente en la Fig. 3.

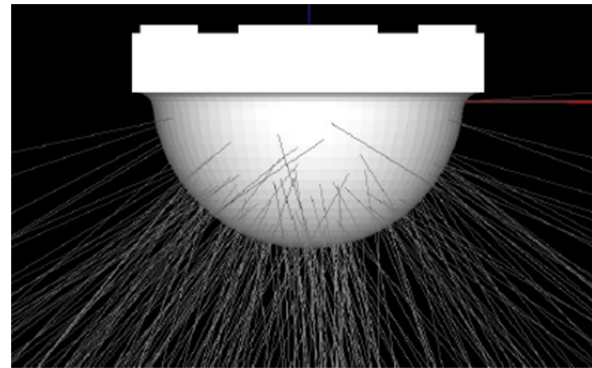


Fig. 2. Trazado de los rayos del LED mediante distribución de luz en el espacio de acuerdo al cálculo proporcionado con un ángulo de 140 grados.

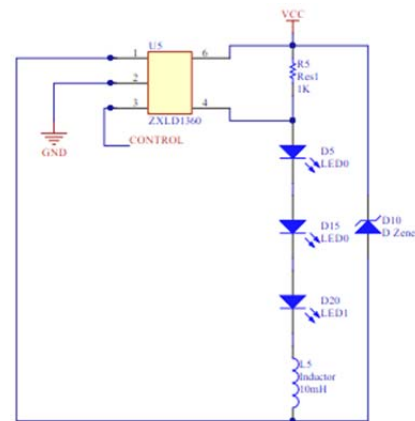


Fig. 3. Placa de fototerapia con lámparas LED elaborada por los autores.

La parte de control de esta lámpara se encuentra comandado por el microcontrolador 16F628 y en cada una de sus salidas alimenta a cada submatriz de LEDs constituida por grupos de controladores del tipo ZXLD1360. El sistema de control enlazado y calibrado con las cinco submatrices entrega 460nm la cual fue medida con un analizador de espectro óptico.

Una de las partes claves para el desarrollo de la lámpara es la correcta distribución de la irradiación sobre la superficie de piel expuesta del recién nacido, la cual debe ser superior al 45% (estándar establecido por la Academia Americana de Pediatría) [15]. Este dispositivo se ubicó en la parte superior de un cunero regular, cuyas medidas estándar para sus lechos son de 60cmx30cm, la lámpara enfoca toda esta área donde estará ubicado el recién nacido con la protección ocular.

Para corroborar la irradiancia (watts de potencia que inciden sobre el lecho) se usó un medidor de potencia luminosa (radiómetro), para longitud de onda específica (450-500nm) y se verificó la misma a diferentes alturas entre el lecho y el panel de fototerapia desde los 20cm hasta los 60cm de distancia, tomando en cuenta que uno de los determinantes directos de la irradiancia es la distancia entre el paciente y la lámpara.

Para medir la eficacia clínica se comparó el tiempo que los pacientes requirieron fototerapia para bajar sus niveles de bilirrubina a valores que no ocasionen riesgo de neurotoxicidad, con base en las recomendaciones de la Academia Americana de Pediatría que establece normogramas predictivos de bilirrubinemia basado en las horas

de vida de los recién nacidos y su edad gestacional [15]. Estos normogramas clasifican a los recién nacidos en riesgos alto, intermedio y bajo para desarrollar hiperbilirrubinemia (ver Tabla II).

TABLA II
NIVELES DE BILIRRUBINA QUE REQUIEREN TRATAMIENTO CON FOTOTERAPIA

Riesgo según paciente	Horas de vida							
	12h	24h	36h	48h	60h	72h	96h	≥120h
Bajo	9	12	14	15	17	18	20	21
Intermedio	8	10	12	13	15	16	17	18
Alto	6	8	9	11	12	13	14	15

Fuente: Academia Americana de Pediatría

Se comparó lámparas con tubos fluorescentes (marca Olidef), lámparas comercializadas con tecnología LED (Lámpara marca Medix modelo MediLed) y la lámpara elaborada en este estudio.

Para el cálculo muestral se tomó en cuenta el ingreso promedio anual de niños a la unidad de Neonatología (600 pacientes), considerando que el 10% de ingresos de neonatos a término, sin patología concomitante desarrolla ictericia clínicamente significativa, con un margen de error de 5% y con un nivel de confianza del 90%, el número total de pacientes para participar en el estudio fue de 84 por lo que se ajustó a 90, distribuyéndose 30 pacientes a cada grupo, al azar, en orden de ingreso a la unidad: Grupo 1: Fototerapia con tecnología LED comercializada, Grupo 2: Fototerapia de confección propia y Grupo 3: Fototerapia de tubos fluorescentes; fueron colocados en cunero y la lámpara a una distancia de 50 centímetros del lecho. Todas las lámparas tuvieron 0 horas de uso previo.

Se calculó el promedio de días de permanencia bajo fototerapia, el promedio de velocidad de reducción de bilirrubinas en plasma a las 24 y 48 horas de ingreso. Se excluyeron pacientes prematuros, de bajo peso o que presente cualquier patología concomitante que condicione elevación de las bilirrubinas.

Los datos del estudio fueron introducidos y analizados en el sistema estadístico IBM SPSS (versión 22); se realizó un análisis univariado que utilizó distribuciones de frecuencias y porcentajes; para determinar diferencias en la eficacia clínica entre los equipos se utilizó el odds ratio, con intervalos de confianza del 95%, se tomó como pruebas de significancia estadística los valores de p menores a 0.05.

El presente estudio fue presentado a la Gerencia y al Comité de ética del hospital y cuenta con la aprobación respectiva una vez que se confirmó que los niveles de irradiación emitidos por el equipo de elaboración propia cumplieron con los estándares respectivos (Memorando Nro. MSP-CZ6-HHCC-2018-2948-M).

III. RESULTADOS

Una vez que se elaboró la placa de fototerapia LED se sometió a las mediciones técnicas y clínicas respectivas.

En primer lugar se midió la irradiación emitida por el equipo mediante un radiómetro. Al considerar que la

irradiación está influenciada por el espectro de luz (en este caso 460nm), superficie corporal expuesta (45% del recién nacido) y la distancia entre el dispositivo de fototerapia y el lecho del recién nacido, se procedió a medir la irradiación espectral a diferentes distancias entre la fuente de luz y el lecho del paciente, los resultados se muestran en la Tabla III.

TABLA III
NIVELES DE IRRADIACIÓN ENTREGADOS

Distancia entre la fuente de luz y el paciente (cm)	Irradiación Espectral ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)
20	95
30	74
40	55
50	40
60	33

A diferentes distancias nuestra lámpara emite niveles óptimos de irradiación ($\geq 30\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$) necesarios para la reducción de los niveles de bilirrubina, por lo que cumple con los estándares establecidos por la Academia Americana de Pediatría: fototerapia convencional cuya irradiación varía de 6 a $12\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$, y la fototerapia intensiva que alcanza los $30\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ [15].

Sobre los resultados de la aplicación clínica de esta lámpara LED de elaboración propia, la Tabla IV resume las características clínicas de los participantes. En todos los grupos el promedio de peso fue de 3000 a 3200 gramos, con una edad gestacional de 39 semanas. Las horas de vida al ingreso a fototerapia bordearon de 60 a 70 horas. El promedio de días de estadía estuvo alrededor de 2 días en los 3 grupos.

Los valores de fototerapia con los que ingresaron los pacientes en los tres grupos se resumen en la Fig. 4. En ella se evidencia que en el grupo de Fototerapia LED comercializada los valores se encuentran en el rango de 22 a 7mg/dl, en nuestra fototerapia de elaboración propia de 22 a 10mg/dl y en lámparas de tubos fluorescentes de 21 a 10mg/dl.

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS DE LOS PACIENTES ESTUDIADOS

	Tubos fluorescentes	Lámpara led comercializada	Lámpara led propia
Peso promedio	3050 gramos	3200 gramos	3034 gramos
Edad gestacional promedio	39 semanas	39 semanas	39 semanas
Edad promedio de ingreso a fototerapia	69.8 horas de vida	63.2 horas de vida	60 horas de vida
Promedio de días estada	1.83 días	2 días	2.1 días

Luego de 24 horas de fototerapia, los valores de control obtenidos para la fototerapia LED comercializada estuvieron en el rango de 20 a 6mg/dl; para el equipo de fototerapia de elaboración propia entre 19 y 7mg/dl y en los tubos fluorescentes entre 18 y 10mg/dl, tomando en cuenta que cada uno de los pacientes ingresados tenían diferentes valores de bilirrubina que determinaron su tratamiento con fototerapia mostrando reducción en cada uno de ellos.

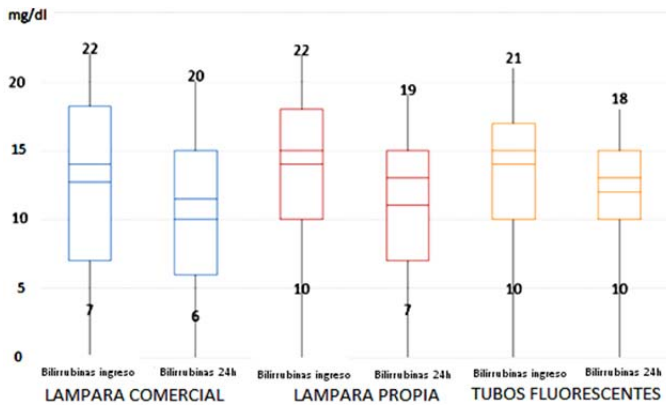


Fig. 4. Valores de bilirrubinas al ingreso y 24 horas en los 3 dispositivos de fototerapia.

El desempeño del dispositivo fue medido al comparar la reducción de los niveles de bilirrubinas en los 3 grupos a las 24 y 48 horas del ingreso. Los valores de bilirrubinas con los que los pacientes ingresaron a fototerapia en los tres grupos, en promedio fueron de 15mg/dl. A las 24 horas de tratamiento se evidenció que en los 3 grupos la reducción promedio de bilirrubinas fue de 2 puntos (2.25-2.4mg/dl) de 15 a 13mg/dl; al medir los niveles plasmáticos a las 48 horas en los tres grupos la reducción se estableció entre 1.86 y 2.17mg/dl y los valores se redujeron de 13 a 11mg/dl.

Se buscó significancia estadística en la reducción de los niveles séricos de bilirrubina al comparar las reducciones registradas por el dispositivo de fototerapia LED de elaboración propia y tubos fluorescentes mediante el cálculo de odds ratio y se encontró un valor de p de 0.6; así mismo se comparó el dispositivo de fototerapia LED de elaboración propia y la lámpara LED comercializada y el cálculo de p fue de 1. Es así que en ninguno de los dos casos se encontró diferencia estadísticamente significativa (valor de $p \leq 0.05$) entre aplicar uno u otro dispositivo de fototerapia (ver Tabla V).

TABLA V
DIFERENCIA DE VALORES DE BILIRRUBINA PARA LOS 3 DISPOSITIVOS

	Tubos fluorescentes	Lámpara led comercializada	Lámpara led propia
Promedio de bilirrubinas al ingreso	15.8 mg/dl	14.93 mg/dl	15.62 mg/dl
Promedio de bilirrubinas a las 24 horas de fototerapia	13.4 mg/dl (2.4) (p=0.6)	12.53 mg/dl (2.4) (p=1)	13.37 mg/dl (2.25)
Promedio de bilirrubinas a las 48 horas de fototerapia	11.3 mg/dl (2.1) (p=0.62)	10,67 mg/dl (1.86) (p=1)	11.2 mg/dl (2.17)

IV. DISCUSIÓN

El uso de fototerapia para el tratamiento de la ictericia en pacientes neonatos es el tratamiento utilizado durante más de 30 años siendo un método seguro para disminuir los índices de bilirrubina, y su tasa de reducción proporcional a la luz, demostrando que la mayor intensidad de irradiación de la

fototerapia aumentaría su eficacia.

La fototerapia actúa produciendo cambios estructurales en la molécula de bilirrubina, debido al efecto de la absorción de la luz y su consiguiente transformación a moléculas más solubles para su posterior excreción por la orina y la bilis [17].

La eficacia de la fototerapia depende de la absorción de fotones de luz por las moléculas de bilirrubina. Sin embargo, sólo la luz de ciertos colores o longitudes de onda puede ser absorbida por la bilirrubina para lograr esta transformación. Estas reacciones ocurren en la piel y se relacionan con la dosis de fototerapia que se mide en niveles de irradiancia [17].

La lámpara de fototerapia con tecnología LED desarrollada en este estudio demostró niveles óptimos de irradiancia espectral que cumplen con las directrices y recomendaciones internacionales para el tratamiento efectivo de la hiperbilirrubinemia neonatal, por lo que puede ser utilizado de manera efectiva para estos pacientes.

La dosis de fototerapia, en gran parte, determina la velocidad de la regresión de la bilirrubina a valores normales. Con un estándar de irradiación considerado eficaz, puede ser obtenida una disminución de la bilirrubina de 6 al 20% en las primeras 24 horas. Por lo tanto, cuanto más alta es la irradiación del aparato de fototerapia, mejor y más rápida será su éxito. Cuando se utiliza la fototerapia intensiva se puede esperar una caída entre 0,5 mg y 1 mg/dl por hora durante las primeras 4-8 horas de terapia [5].

Este tratamiento depende del tipo de tecnología y calidad de fuente de luz usada en la fototerapia. Dentro de los dispositivos más usados se encuentran las lámparas tradicionales de fototerapia con tubos fluorescentes que no emiten un grado alto de irradiación (entre 6 a 12 μ W/cm²/nm) y tienen una vida útil corta (1000 horas de uso) lo que implica cambios frecuentes en los tubos para garantizar una irradiancia eficaz aumentando así los costos en el mantenimiento del equipo [16].

Por otro lado, las lámparas de fototerapia con tecnología LED son más efectivas que los dispositivos de fototerapia con tubos fluorescentes para reducir la hiperbilirrubinemia, pues emiten una mayor irradiancia (30 μ W/cm²/nm o superior), son más fáciles de colocar cerca del bebé (debido a la menor producción de calor) y envejecen más lento que las lámparas fluorescentes con una vida útil más prolongada (hasta 10000 horas de uso), manteniendo así la irradiancia original durante más tiempo y reduciendo la necesidad de reemplazos en los LEDs y por lo tanto los costos en mantenimiento [13].

En este estudio se comparó 3 dispositivos de fototerapia (tubos fluorescentes, lámpara LED comercializada y el dispositivo de elaboración propia), y se demostró que la irradiancia del dispositivo de elaboración propia fue superior a la fototerapia de tubos fluorescentes y similar a la lámpara LED de comercialización industrial (por encima de 30 μ W/cm²/nm) y pese a que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de reducción de la bilirrubina a las 24 y 48 horas, el dispositivo elaborado puede ser usado de manera segura y efectiva en el tratamiento de la ictericia, además que garantiza menores costos en salud pues fue elaborado por el personal del hospital y no requirió

reemplazos en los materiales utilizados durante todo el estudio.

V. CONCLUSIONES

La lámpara de fototerapia elaborada por los autores demuestra ser efectiva para el tratamiento de la hiperbilirrubinemia neonatal, cumpliendo con las especificaciones técnicas requeridas, por lo que constituye una alternativa válida para su uso en las unidades de neonatología, y promueve además el desarrollo de tecnologías propias en Ecuador como una opción segura, eficaz y sobretodo menos costosa frente a equipos de fabricación industrial (ver Fig. 5).



Fig. 5. Fototerapia de elaboración propia implementada en el tratamiento de un neonato con ictericia.

REFERENCIAS

- [1] L.A. Jardine, P. Woodgate. "Neonatal jaundice: phototherapy". *BMJ Clin Evid*, vol. 05:319, May 2015.
- [2] V.K. Bhutani, B. K. Cline, K. M. Donaldson, H. J. Vreman, "The need to implement effective phototherapy in resource-constrained settings," *Semin Perinato*, vol. 35, no. 3, pp. 192-7. Jun 2011.
- [3] L. A. Stokowski. "Fundamentals of phototherapy for neonatal jaundice". *Adv Neonatal Care*, vol. 6, no. 6, pp.303-12. Dec 2006.
- [4] H. O. Amadi, et al. "Comparative outcome of overhead and total body phototherapy for treatment of severe neonatal jaundice in Nigeria". *Paediatr Int Child Health*, vol. 30, pp. 1-9. May 2019.
- [5] R. C Amos, H. Jacob, W. Leith. "Jaundice in newborn babies under 28 days. NICE guidelines [CG98]". *Arch Dis Child Educ Pract Ed*, vol. 102, no. 4, pp.207-209, Aug 2017.
- [6] World Health Organization. *Medical devices and eHealth solutions: compendium of innovative health technologies for low-resource settings*. Geneva: WHO, 2013.
- [7] B.O. Olusanya, et al. "Management of late-preterm and term infants with hyperbilirubinaemia in resource-constrained settings". *BMC Pediatrics*, vol. 15, no. 39, Apr 2015.
- [8] A. Tridente, D. De Luca. "Efficacy of light-emitting diode versus other light sources for treatment of neonatal hyperbilirubinemia: a systematic review and meta-analysis". *Acta Paediatr*, vol. 101, no. 5, pp.458-65. May 2012.
- [9] JI. Qazi, et al. "Efficacy of different types of phototherapy devices: A 3 year prospective study from Northern India". *J Clin Neonatol*, vol. 6, no. 5, pp. 153-6. Jan 2012.
- [10] P. Kumar, D. Chawla, A. Deorari. "Light-emitting diode phototherapy for unconjugated hyperbilirubinaemia in neonates". *Cochrane Database Syst Rev*. vol. 12, Dec 2011.
- [11] M. Mohammadzadeh M, et al. "Is the light-emitting diode a better light source than fluorescent tube for phototherapy of neonatal jaundice in preterm infants?". *Adv Biomed Res*. vol. 1, no. 51, Aug 2012.
- [12] F. Faulhaber, R. Procianoy, R. Silveira. "Side Effects of Phototherapy on Neonates". *Am J Perinatol*, vol. 36, no. 3, pp. 252-257. Feb 2019.
- [13] B. O. Olusanya, F.B. Osibanjo, A.A. Emokpae, T.M. Slusher. "Irradiance Decay in Fluorescent and Light-emitting Diode-based Phototherapy Devices: A Pilot Study". *J Trop Pediatr*, vol. 62, no. 5, pp. 421-4. Oct 2016.
- [14] "Estadísticas vitales". Instituto nacional de Estadísticas y Censos. Ecuador. 2016.
- [15] American Academy of Pediatrics. "Clinical Practice guideline Submmitte on Hyperbilirubinemia. Management of Hyperbiiirubinemia in the Newborn Infant 35 or more weeks of Gestational". *Pediatrics*, vol. 114, no. 1, pp. 297-316, Jul 2004.
- [16] "Guía Tecnológica No. 3 Unidad de Fototerapia (GMDN 35239)". Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. México. 2012.
- [17] M. González-Valcárcel, R.C. Raynero, S.M. Caballero. "Ictericia Neonatal". *Pediatr Integral*, vol. 23, no. 3, pp. 147 – 153. 2019.