

Diseño de un dispositivo sensor de irradiancia para lámparas de fototerapia

Design of an irradiance sensing device for jaundice phototherapy lamps.

Joel Gornati

Universidad Tecnológica Nacional
(Argentina)
joelgornati@gmail.com

Fernando Fernández

Universidad Tecnológica Nacional
(Argentina)
fernandofernandez_g@yahoo.com.ar

Juan Salerno

Universidad Tecnológica Nacional
(Argentina)
juansalerno63@hotmail.com

Edgardo Marino

Universidad Tecnológica Nacional
(Argentina)
emarin0@live.com

Rubén Piacentini

Universidad Nacional de Rosario
(Argentina)
ruben.piacentini@gmail.com

Graciela Salum

Universidad Yachay Tech
(Ecuador)
gsalum@yachaytech.edu.ec

Revista Cumbres Vol.4 N°1

Versión impresa ISSN 1390-9541

Versión electrónica ISSN 1390-3365

<http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres>

RESUMEN

La ictericia neonatal requiere de un tratamiento eficaz, debido a las graves consecuencias que tiene dicha patología (desde problemas neurológicos hasta la muerte del neonato). La administración de radiación azul al recién nacido es una de las terapias utilizadas en Argentina, pero no posee un control de la irradiancia de las lámparas ni tampoco existe un criterio científicamente comprobado respecto del tiempo de vida de la lámpara. El objetivo de este trabajo es proponer el diseño de un dispositivo de sensado continuo de las lámparas utilizadas para ictericia que garantice una emisión suficiente para la patología. La metodología considera el uso de un sensor de irradiancia en el rango visible y de un microcontrolador. Además, se presenta un kit de experimentación donde se simula la situación real de la luminoterapia en la sala de Neonatología. Se concluye en que se ha logrado desarrollar un dispositivo económico y capaz de sensar con la eficiencia suficiente la emisión de las lámparas, reemplazando equipos mucho más costosos.

Palabras clave: Luminoterapia, ictericia, sensado, bilirrubina..

ABSTRACT

Neonatal jaundice requires an effective treatment because of the serious consequences it brings (from neurological problems to the death of the neonate). Administration of blue radiation to the newborn is one of the therapies used in Argentina, but it has neither a control of the irradiance of the lamps nor does it exist a scientifically proven criterion regarding the usage time of the lamp. The aim of this work is to propose the design of a continuous sensing device for the lamps used for jaundice to guarantee sufficient emission for the pathology. The methodology considers the use of the sensor of irradiance in the visible range, as well as a microcontroller. In addition, an experimentation kit is presented where the actual situation of light therapy in the Neonatology room is simulated. It is concluded that it has been possible to develop an economic but capable device for sensing the emission of the lamps with sufficient efficiency, replacing much more expensive equipment.

Keywords: Phototherapy, jaundice, sensing, bilirubin.

INTRODUCCIÓN

La hiperbilirrubinemia, o ictericia neonatal, consiste en la elevación de los niveles de bilirrubina en suero sanguíneo en neonatos prematuros. Dichos niveles se elevan por algunos días (3 a 5) y luego disminuyen en las próximas dos semanas hasta su valor normal. Las principales razones de este aumento de bilirrubina en sangre son el incremento de la hemólisis (ruptura de glóbulos rojos) y un hígado inmaduro (por eso generalmente ocurre en

neonatos prematuros) incapaz de degradar esos niveles de bilirrubina (Alla et al., 2010)

La luminoterapia como se la conoce hoy, es una fototerapia convencional e intensiva y se la utiliza desde 1958, aplicando luz blanca o luz azul fluorescentes. El efecto es local dado que actúa sobre la bilirrubina circulante a través de los capilares cutáneos, transformándola en isómeros no tóxicos e hidrosolubles (Mazzi Gonzales de Prada, 2005).

Generalmente se utilizan la luz blanca o la luz azul, pero recientemente se está evaluando la eficiencia de la luz verde, debido al diferente comportamiento de la bilirrubina in vitro e in vivo (Uchida et al., 2015). Existen varias tecnologías de luminoterapia disponibles, que son descritas en diferentes trabajos (ver, por ejemplo Perazzini Facchini, 2001). Básicamente se pueden encontrar equipos con tubos fluorescentes, lámparas incandescentes halógenas y LEDs (diodos luminosos) especiales. Asimismo, dentro de esta tecnología, se utilizan tubos blancos (comunes, de iluminación general) y tubos azules de fabricación especial para fototerapia. Los primeros no se fabrican para uso médico, y sin embargo se han utilizado durante varios años in extenso a falta de algo mejor. Sin embargo, en el estado actual del desarrollo de esta terapia, estos tubos son inadecuados por la indeterminación de su efectividad y la inexistencia de una responsabilidad del fabricante para lograr una normalización de su funcionamiento más allá de los usos de iluminación, por lo que están siendo desplazados, y se tiende a la generalización del uso de tubos azules de uso médico.

En este artículo nos limitaremos a estudiar los equipos que utilizan tubos fluorescentes de luz azul especiales para luminoterapia, ya que es la tecnología más difundida y presente en todas las salas de neonatología de Argentina.

A pesar de sus reconocidos beneficios, la administración de la fototerapia dista mucho de contar con una normalización, ya que según los propios médicos consiste en una práctica de aplicación no homogénea y sin estandarización (Martínez, 2005). Pueden encontrarse entonces indicaciones diferentes que revelan la falta de un consenso único acerca del tema. Por ejemplo, se pueden citar las indicaciones de la AAP (por sus siglas en inglés, American Academy of Pediatrics), una de las instituciones más prestigiosas en la materia, y sus guías para el manejo de la hiperbilirrubinemia actualizadas al 2004 (Pediatrics, 2004) que intentan establecer una estandarización válida, y a las observaciones hechas acerca de esta actualización (Kaplan y Hammerman, 2005).

Además de lo antes expuesto, es de suma importancia enfatizar que la fototerapia debe aplicarse de forma prudente y evitarse en casos de ser innecesaria. Esto se debe a que el uso de la fototerapia en neonatos se asociaba con tasas de aumento de cáncer (particularmente la leucemia no linfocítica) y que puede aumentar ligeramente el riesgo de cáncer en la infancia, aunque el aumento de riesgo absoluto es pequeño (Newman et al., 2016; Wickremasinghe et al., 2016). Este riesgo se debe considerar especialmente para los niños con niveles de bilirrubina por debajo de las guías actuales de tratamiento.

También desde la visión de los fabricantes de equipos de fototerapia, se dice explícitamente que el gran problema a que se enfrentan los neonatólogos es que no existe aún una forma estandarizada de realizar fototerapia (irradiancia emitida, tiempo de exposición, rango de longitud de onda, distancia lámpara-neonato, entre otros parámetros) y que las unidades varían, así como las lámparas. Dado que se trata de la administración de una radiación (de baja energía como es la visible) durante un cierto intervalo de tiempo, la eficiencia del tratamiento claramente depende de la dosis de la fototerapia, es decir es necesario el conocimiento acabado de, tanto la irradiancia emitida por la lámpara como del tiempo que se aplica.

Aquí, en este último punto es donde se encuentran las principales dudas a las que se aspira a dilucidar en el presente trabajo. En las salas de neonatología, el procedimiento acostumbrado y por el que se mantiene el equipamiento en servicio, garantizando el nivel de emisión luminosa necesario para el tratamiento, es el registro de las horas de uso y el recambio de las lámparas al llegar al máximo establecido de las mismas. Con este recambio se confía en que el equipamiento estará en condiciones para efectuar el tratamiento. Sin embargo, este máximo de horas de uso varía desde 800 a 2000 horas, y no existe un fundamento científico para este rango de horas de uso ni reglas precisas sobre temas tan importantes como por ejemplo el tipo de lámpara, la longitud de onda de la radiación usada (azul, blanca o verde), normas del fabricante, influencia del uso continuo versus el intermitente, la cantidad de los ciclos de encendido-apagado, la tensión de alimentación y la calidad de la alimentación eléctrica, la temperatura de la sala y otros de semejante importancia. Resumiendo, si bien se trata de un problema estudiado, aún no está resuelto en las condiciones actuales y a eso apunta la presente investigación.

En los siguientes ítems se presenta el diseño de un sistema de medición continua de la irradiancia de las lámparas de fototerapia para tratamiento de la hiperbilirrubinemia en neonatos, de muy bajo coste, acceso a nivel local y que permite detectar la disminución de la irradiancia por debajo de los niveles deseados. La justificación de este desarrollo reside en que, si la ictericia no se trata a tiempo, puede conducir a problemas neurológicos, que podrían ser irreparables y aún a la muerte del neonato (Alla et al., 2010).

En artículos previos (Salum et al., 2014 y 2015) este grupo ha experimentado con lámparas usadas en la fototerapia por separado y se encontró que no poseen una irradiancia inicial conocida y que podrían no agotar su efectividad a las 2000 horas de uso. Para los autores, es incuestionable la necesidad de un dispositivo que pueda sensar la irradiancia de estas, ya sea para extender su tiempo de vida como para reemplazarlas en caso de que se agoten antes de las 2000 horas, dada la peligrosidad de una hiperbilirrubinemia no tratada adecuadamente.

Hoy día existen distintas propuestas para el sensado del estado de salud del neonato (Hakimi et al., 2016 y Salum et al. 2013 entre otros), pero son pocas las propuestas para el sensado de la irradiancia emitida por las lámparas de fototerapia neonatal.

Esto provee una justificación extra, dado que no existe en el mercado un sensor económico y accesible para los centros médicos con neonatología,

pues el espectrorradiómetro (de marca Avantes) utilizado para las investigaciones tiene un costo difícilmente alcanzable para los centros médicos, teniendo en cuenta que se requiere un sensor por cada fototerapia. Además, no posibilidad de conseguir en el mercado regional un radiómetro portátil para determinación de la irradiancia de lámparas fluorescentes. Por lo tanto, existe una clara solución de compromiso entre la criticidad del control de irradiancia de las lámparas y el costo económico que conlleva un reemplazo innecesario con un criterio no adecuado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La lámpara de fototerapia para hiperbilirrubinemia que se analiza es de la empresa Philips, modelo TL 20W/52 y cuyo espectro de emisión se muestra en la Figura 1 (izquierda) (Philips, 2009). A la derecha en la misma figura se puede ver el espectro de acción de la bilirrubina (Tan, 1982). El espectro de acción de una acción biológica nos informa sobre la efectividad relativa en la producción de la respuesta biológica, para diferentes longitudes de onda (Lovergreen et al., 2002).

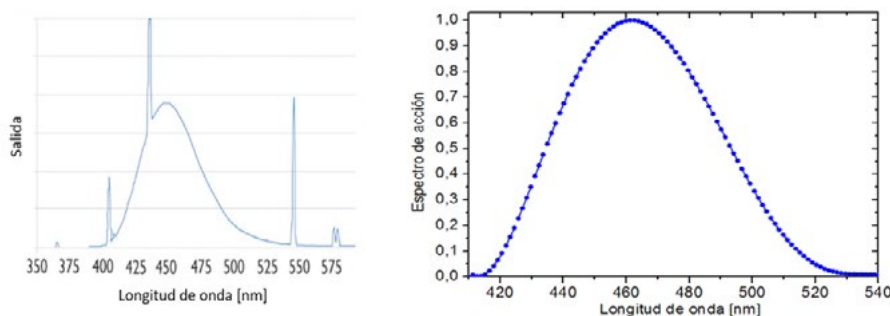


Figura 1. Izquierda: Espectro de emisión de las lámparas utilizadas en fototerapia para ictericia. Derecha: Espectro de acción de la bilirrubina (adaptado de Tan, 1982).

En la Figura 1 puede comprobarse que el máximo local de la irradiancia que provee la lámpara se encuentra alrededor de los 450 nm (izquierda) mientras que el máximo de efectividad en la absorción de la bilirrubina se encuentra alrededor de los 460 nm (derecha).



Figura 2. Fotografías del equipo de fototerapia Medix. Izquierda: Detalle de las luminarias. Derecha: Equipo en funcionamiento. Salvador, Oña Grueso, Sta. Isabel Orgánico, por voltamperometría.

Como puede verse en esta figura, la empresa provee la forma del espectro de emisión de la lámpara pero no los valores de irradiancia con los que emite. En el presente trabajo se analizan las lámparas de un equipo de luminoterapia MEDIX LU-6T (Medix, 2005), con 4 tubos azules de terapia y dos tubos fluorescentes comunes para inspección del paciente. La disposición de los tubos y aspecto general del equipo, se pueden ver a la en la Figura 2 (izquierda), mientras que en la Figura 2. (derecha) se aprecia la fototerapia en funcionamiento.

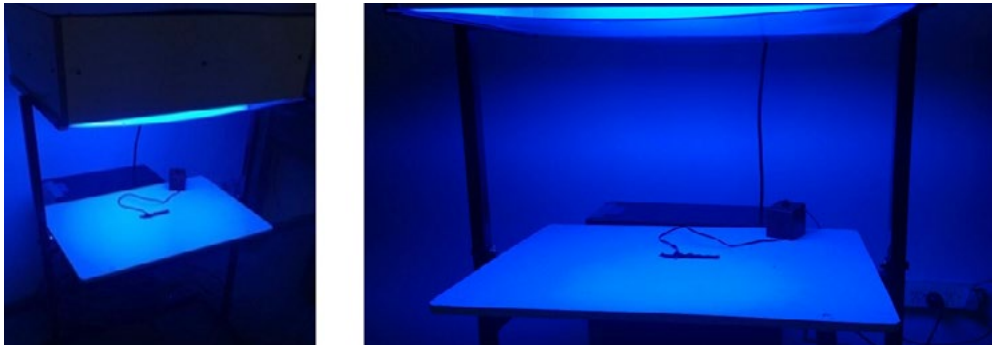


Figura 3. Fotografías que muestran el equipo de fototerapia simulado y el sensor de irradiancia desarrollado.

Se desarrolló una réplica de un equipo de luminoterapia con sus cuatro lámparas, tal como se utiliza en el tratamiento convencional (Figura 3) para lograr una simulación del procedimiento y las condiciones de trabajo lo más cercanas posible a la realidad. Además, esta etapa de experimentación tuvo como propósito evaluar las diferencias existentes con las primeras mediciones que se realizaron con una sola lámpara (Salum et al., 2014 y 2015). Como puede verse en las fotografías, no solo se simuló la disposición de las lámparas, sino también la distancia lámparas-neonato.

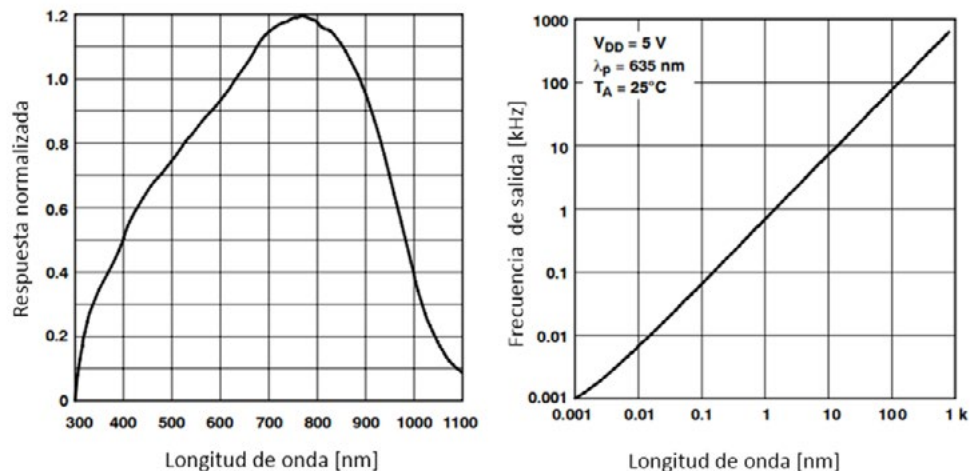


Figura 4. Izquierda: Espectro de respuesta del sensor escogido. Derecha: Frecuencia de salida del sensor en función de la longitud de onda sensada.

Para la construcción de dicho equipo de sensado se debió analizar la disponibilidad en el mercado nacional y regional respecto al sensor propiamente dicho que debe determinar la irradiancia que provee la lámpara en uso en la fototerapia. Luego de buscar varias opciones se consideró mejor utilizar el sensor TSL235R (TAOS) que produce una frecuencia que es directamente proporcional a la intensidad de la irradiancia sensada. Esta salida consiste en una onda cuadrada con un ciclo de trabajo de 50%. Además, el dispositivo es compensado en temperatura para el rango ultravioleta y visible (de 320 a 700 nm).

Como puede verse en la Figura 4 (izquierda) el sensor elegido posee una respuesta en el rango de 320 a 1050 nm, con un máximo entre los 700 y 800 nm que si bien está desplazado respecto del pico de absorción de la bilirrubina que está en alrededor de 460 nm (según Tan, 1982), tiene una respuesta razonablemente buena en el rango de absorción de dicha molécula. En la Figura 4 (derecha) puede verse la frecuencia de salida del sensor dependiendo de la longitud de onda sensada (en escala logarítmica).

El equipo diseñado se encarga de obtener el valor de frecuencia existente en la puerta de salida del sensor mediante un microcontrolador. Esta señal se inyecta luego en una de las entradas del microcontrolador que posee la capacidad de realizar interrupciones mediante eventos externos, como flancos de tensiones positivos y/o negativos, necesarios para calcular el periodo de la señal cuadrada y así obtener el valor de la frecuencia.

Una vez conocido el valor de la frecuencia, a través de una comunicación Bluetooth o USB, se transmite este dato a un software que captura los datos con capacidad de almacenamiento, muestreo en tiempo real y registro de la cantidad de horas en la que el equipo estuvo en funcionamiento.

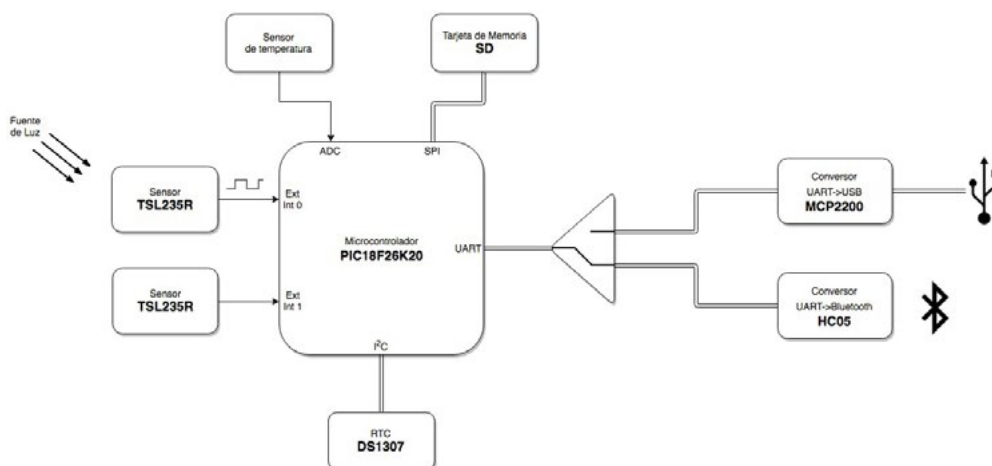


Figura 5. Diagrama en bloques del medidor de irradiancia en fototerapias desarrollado.

El software que captura datos se encuentra actualmente en proceso de desarrollo. Actualmente, cuenta con la capacidad de obtener el valor instantáneo de irradiancia registrada por la placa que captura datos y ubicarlo en una base de datos alojada en un servidor. Se utiliza a modo de servidor una Raspberry Pi, siendo esta, una mini-computadora, la cual corre un sistema operativo Linux, e instalada en esta una base de datos no relacional MongoDB. Dicho software se ha desarrollado con tecnologías de código abierto (como Node.js) que brindan la capacidad de crear aplicaciones web en tiempo real, permitiendo consultar los valores obtenidos desde cualquier parte del mundo a través de una conexión a internet y así poder visualizar los datos históricos o en tiempo real.

En la figura 5 se representa el diagrama en bloques de un medidor de irradiancia propuesto con las capacidades mencionadas anteriormente. En el mismo pueden verse también las propuestas a futuro, como son:

- 1- Ubicar dos sensores para obtener el valor de la irradiancia en el ambiente y así calcular la diferencia con la medida dentro del perímetro donde se está aplicando el tratamiento de luminoterapia.

- 2- Agregar un respaldo de datos en una tarjeta de memoria SD junto con un reloj de tiempo real (RTC) para evitar pérdidas de valores en caso de fallas en la comunicación con el software adquisidor de datos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Figura 6. Variación de la frecuencia en función del conteo de los días de uso.

Actualmente el medidor ya se encuentra desarrollado y en la etapa de pruebas y calibración, cuenta con una sola vía de medición y obtiene valores promedios cada un segundo, de la irradiancia emitida por el total de las lámparas.

Se adquirieron los datos crudos, es decir, sólo valores de frecuencia proporcional a la irradiancia incidente en el área donde se encontraría el neonato con el medidor desarrollado.

Como resultado de la medición se obtuvo la curva de decaimiento de la irradiancia del equipo de tubos. Dicha curva puede verse en la Figura 6, donde se muestra la variación de la frecuencia en función del conteo de los 68 días de uso del experimento.

La variación de la frecuencia, mostrada en la Figura 6, manifestó un leve decaimiento al transcurrir las horas de uso. También se pueden observar muchas oscilaciones en ella. Se considera que pueden ser debidas al efecto de la variación de los parámetros eléctricos, como por ejemplo la tensión de alimentación de dicho equipo. Para hacer un mejor análisis, se debería incluir la medición de la fluctuación de potencia eléctrica en la línea de tensión, mediante sensores de tensión y corriente en la entrada del equipo donde se encuentran alojadas las lámparas de terapia de ictericia, lo cual se realizará en el futuro.

Existen diferentes tipos de instrumentos relacionados con la detección del funcionamiento de lámparas de bilirrubina y con la propia bilirrubina en sangre. Entre los primeros se encuentran los equipos comerciales de: Solar Light, denominado Bilirubin Phototherapy Detector PMA2123 (PMA2123, 2018). e International Light Technologies, denominado ILT2400 Radiometer/Photometer (ILT2400, 2018). Sin embargo, el costo de los mismos es relativamente elevado, principalmente para Servicios públicos de salud que disponen, en países en desarrollo, de un reducido presupuesto y además está el grave problema de la dificultad de compra en el exterior y de importación/exportación (en el último caso para calibración de dicho instrumento). En el presente instrumento, la calibración es muy simple, ya que el sistema se basa directamente en una celda fotovoltaica de gran durabilidad y relativa alta eficiencia.

Entre los segundos (y desarrollados más recientemente) que eventualmente podrían ser empleados para controlar lámparas de bilirrubina, pero que no han sido desarrollados con ese objetivo, caben destacarse los propuestos por Babin y Sova (2014) y por Mazuina y Hadi (2015), quienes proponen sensores con fibra óptica para la de bilirrubina intravenosa. La Organización Mundial de la Salud provee de información sobre lo que denomina Bilirrubinómetros en (Bilirubinometer, 2018).

CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema adquisidor de la irradiancia de lámparas fluorescentes de luz azul para equipos de fototerapia en salas de neonatología, para el tratamiento de ictericia en recién nacidos. La justificación está dada por la falta de equipos económicos de acceso en el área de la salud, desconocimiento de los valores de parámetros de dosis, como los eléctricos, en estos tratamientos y sobre todo la falta de estándares al respecto, teniendo en cuenta dos importantes temas: la salud humana (criticidad del tratamiento) y la economía en salud (costo por recambio innecesario de las lámparas).

Un equipo capaz de medir con la exactitud requerida la emisión de las lámparas, como un radionanómetro, es de procedencia importada y tiene un costo en el país de unos 1500 dólares.

Además del desarrollo del equipo medidor de radiación, se implementó un sistema de experimentación que permitiera realizar las mediciones necesarias en laboratorio, sin tener que afectar al normal uso en las salas de neonatología.

A futuro restan: la calibración adecuada del sistema sensor, el análisis de los factores eléctricos que puedan modificar los valores de la irradiancia emitida y una propuesta de estandarización del uso de lámparas fluorescente de luz azul para ictericia en neonatos.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer a la Maternidad Martín de la ciudad de Rosario, Argentina, que permitieron el acceso a la Sala de tratamiento, dieron información sobre dicho tratamiento y fue posible obtener las fotos.

Uno de los autores (R.D.P.) agradece a CONICET por el apoyo mediante subsidio PID 0405.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alla, S.K., Huddle, A., Clark, J.F., & Beyette Jr, F.R. (2010). Signal processing system to quantify bilirubin in the jaundice clinical model spectra. *32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Buenos Aires, Argentina.
- American Academy of Pediatrics (AAP) Subcommittee on Hyperbilirubinemia (2004). Management of Hyperbilirubinemia in the Newborn Infant 35 or More Weeks of Gestation. . *CLINICAL PRACTICE GUIDELINE*- edición original de 1994, actualizada en 2004. Consultado el 20/8/2011 en <http://www.aap.org/> <http://doi.org/10.1590/S0100-40422010001000033>
- Babin, S.M., & Sova, R.M. (2014). Preliminary Development of a Fiber Optic Sensor for Measuring Bilirubin. *Analytical Chemistry Insights*, 9, 59-65.
- Hakimi, A., Hassan, N., Anwar, K., Zakaria, A., & Ashraf, A. (2016). Electrochemical detection of nitrite and ascorbic acid at glassy carbon electrodes modified with carbon nano-onions bearing electroactive moieties. *Inorganica Chimica Acta*. <http://doi.org/10.1016/j.ica.2017.06.024>
- Kaplan, M., & Hammerman, C. (2005). American Academy of Pediatrics guidelines for detecting neonatal hyperbilirubinaemia and preventing kernicterus, Are there worldwide implications? *Arch Dis Child Fetal Neonatal*, 90:F448-F449.
- Lovergreen, C.H., Álvarez, J.L., Fuenzalida, H., & Aritio, M. (2002) Radiación ultravioleta productora de eritema en Valdivia. Comparación entre inferencias satelitales, modelo de transferencia radiativa y mediciones desde Tierra. *Revista médica chilena*, 130 (1).
- Martínez J. (2005). El real problema del recién nacido icterico: Nuevas guías de la Academia Estadounidense de Pediatría. *Archivos argentinos de pediatría*, 103(6)524-532/524.
- Mazuina, M., & Hadi, M. (2015). The optimal absorption of bilirubin using an optical fiber sensor. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. Asian Research Publishing Network (ARPN). 10 (19,) 8762-8764.
- Fang, T., Zhen, Q., Liao, L., Owiti, A., Zhao, L., Korban, S. S., & Han, Y. (2017). Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. *Food Chemistry*, 225, 132-137. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.014>

- Medix (2005). Manual del usuario y servicio técnico, Unidad de fototerapia modelo LU-6T, catálogo N° 72633C.
- Mazzi Gonzales de Prada, E. (2005). Hiperbilirrubinemia neonatal. *Rev. Bol. Ped.*, 44(1), 26-35
- Newman, T.B., Wickremasinghe, A.C., Walsh, E.M., Grimes, B.A., McCulloch, C.E., & Kuzniewicz, M.W. (2016). Retrospective Cohort Study of Phototherapy and Childhood Cancer in Northern California. *Pediatrics*, 137 (6). *Pediatrics*, 114, N°1, July 2004, Appendix 2: Phototherapy.
- Perazzini Facchini, F. (2001). Standardizing the calibration of phototherapy devices - a proposal. *Jornal de Pediatria*, 77(2), 67-74.
- Philips (2009). Philips Lamps for phototherapy treatment, catálogo, Abril 2009, Koninklijke Philips Electronics N.V., document code 3222 635 59731. Consultado el 18/8/2011 en <http://www.lighting.philips.com>.
- Saleem, A., Junaid, M.M., Husna Mohammadi, S., Jebran, P.M., Iram, S., & Indikar, L. (2013). Embedded Based Preemies Monitoring System With Jaundice Detection And Therapy. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2 (6)
- Salum, G.M., Salerno, J., Marino, E., & Piacentini, R.D. (2014). Jaundice lamps: analysis of the "2000 hours of use" criterion. *VI Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2014, Paraná, Argentina 29, 30 & 31 October 2014, IFMBE Proceedings*, 49, 916-919.
- Salum, G.M., Di Teodoro Cotua, A.N., Salerno, J., Marino, E., & Piacentini, R.D. (2015). A method to determine the variation of irradiance in bilirubin lamps as function of the time of use, *IFMBE Proceedings*, 51, 1359-1362.
- Tan, K.L. (1982). The pattern of bilirubin response to phototherapy for neonatal hyperbilirubinaemia. *Pediatr. Res.*, 16: 670-674.
- Uchida, Y. Morimoto, Y., Uchiike, T., Kamamoto, Hayashi, T., Arai, I., Nishikubo, T., & Takahashi, Y. (2015). Phototherapy with blue and green mixed-light is as effective against unconjugated jaundice as blue light and reduces oxidative stress in the Gunn rat model. *Early Human Development*, 91, 381-385.
- Wickremasinghe, A.C., Kuzniewicz, M.W., Grimes, B.A., McCulloch, C.E., & Newman, T.B. (2016). Neonatal Phototherapy and Infantile Cancer. *Pediatrics*, 137 (6).
- PMA2123 (2018). Bilirubin Phototherapy Detector. https://solarlight.com/wp-content/uploads/2014/10/Sensors_PMA2123-.pdf. Accessed on 06/06/2018.
- ILT2400 (2018). <https://www.intl-lighttech.com/products/ilt2400-scd144>. Accessed on 06/06/2018
- Bilirubinometer (2018). http://www.who.int/medical_devices/innovation/bilirubinometer.pdf. Accessed on 06/06/2018.