

7. Servicios avanzados de telemedicina

Fernando Balducci González¹, Germán Hirigoyen Empananza¹, Ignacio Foche Pérez² y Carlos Rodolfo Ramírez Payba¹

7.1. Los sistemas de apoyo al diagnóstico en zonas rurales de países en desarrollo

En los países en desarrollo, el acceso a la salud de la población es brindado por puestos o centros de salud radicados en cada pueblo, grupo habitacional o junta de gobierno. Por lo general, los puestos de salud son de mínima complejidad; cuentan con presencia esporádica, semipermanente o en todo caso no residente de médicos, ginecólogos, pediatras, etc., pero en cambio es frecuente encontrar que el personal de enfermería y los asistentes sociales tienen residencia permanente en las poblaciones en las que atienden.

La facilidad de acceso a diagnósticos especializados es inversamente proporcional a la complejidad del traslado hacia las zonas urbanas; por ello, el personal de estos establecimientos está altamente entrenado, posee una extraordinaria habilidad para sortear dificultades, y en general presenta una excelente predisposición para aplicar nuevas tecnologías en sus tareas habituales.

A pesar de su entrenamiento y vocación de servicio, este personal enfrenta con frecuencia situaciones que requieren contar con diagnósticos realizados por especialistas, los cuales no son factibles o deben hacerse trasladando el paciente hacia donde se encuentren los servicios de salud disponibles.

Es allí donde la telemedicina puede jugar un rol significativo como herramienta de apoyo al diagnóstico, como también de entrenamiento y de contención para los profesionales que están en situación de aislamiento o con dificultad de acceso a los centros urbanos.

La enorme penetración poblacional que están teniendo las TIC provee un medio accesible y sostenible para la investigación, generación y aplicación de nuevas tecnologías

¹Fundación de Telemedicina (Fundatel), Argentina

²Universidad Rey Juan Carlos, España

de diagnóstico remoto. A ello también contribuye la disponibilidad de tecnologías de desarrollo electrónico e informático de bajo costo, con base en las cuales los grupos de trabajo han producido programas y equipos con aplicación en telemedicina.

7.1.1. Homologación de dispositivos para telemedicina

Recordando la definición de la OMS, la telemedicina es “El suministro de servicios de atención sanitaria en los que la distancia constituye un factor crítico, por profesionales que apelan a tecnologías de la información y de la comunicación con objeto de intercambiar datos para hacer diagnósticos, preconizar tratamientos y prevenir enfermedades y heridas, así como para la formación permanente de los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y de evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven” [118].

En lo que tiene que ver con los aspectos clínicos, los datos para hacer diagnóstico se intercambian entre el sitio remoto y el centro donde se radica el especialista. Por ello es indispensable que esos datos cumplan con todos los requerimientos de seguridad, confidencialidad, integridad y redundancia. Tanto es así que los sistemas desarrollados por grupos de trabajo universitarios o de ONG deberían ser sometidos a procesos de ensayo, validación clínica y homologación técnica antes de ser implantados definitivamente en las comunidades destinatarias. El no contemplar esta etapa conlleva *de facto* a la creación de un doble estándar de salud, donde hay poblaciones atendidas y diagnosticadas con equipamiento homologado (esto es, de calidad probada de diagnóstico) y otras atendidas con equipamiento no homologado, con riesgos para la salud por la afectación del diagnóstico y tratamiento de los pacientes. Cabe preguntarse aquí si alguien permitiría que sus hijos fueran diagnosticados de sus dolencias con sistemas no homologados.

A continuación se listan algunos de los ensayos que hay que tener en cuenta para la homologación por marcado CE³:

- EN 62304:2006 Software de dispositivos médicos. Procesos del ciclo de vida del software. IEC 62304:2006.
- EN 60601-1:2006 Equipos electromédicos. Parte 1: Requisitos generales para la seguridad básica y funcionamiento esencial. IEC 60601-1:2005 (capítulo 14 software).
- Directiva 93/42/ECC para Dispositivos Médicos (MDD, Medical Device Directive 93/42/EEC)

La autoridad sanitaria sueca publicó una guía para la clasificación de Sistemas de Información en Salud basada en las clases definidas en la MDD: Clase I para bajo riesgo, Clase IIa para riesgo medio-bajo, Clase IIb para riesgo medio-alto y Clase III para riesgo alto [119]. A continuación se presenta un resumen, basado en esta guía, de la clasificación de los sistemas más relevantes para la telemedicina:

³El **marcado CE** es un requisito para todo el territorio de la Unión Europea que deben cumplir algunos productos industriales para garantizar la seguridad de los consumidores y usuarios (http://ec.europa.eu/enterprise/policies/single-market-goods/cemarking/index_es.htm).

- Sistema de Historia Clínica Electrónica (*Electronic Patient Record System*): dependiendo de lo que manifieste el fabricante frente a los riesgos identificados, debe ser calificado al menos en Clase I.
- Sistema de Registro de Anestesia (*Anaesthetic Record System*): dependiendo de lo que manifieste el fabricante frente a los riesgos identificados, debe ser calificado al menos en Clase I.
- Sistema de Gestión de Datos de Paciente (PDMS, *Patient Data Management Systems*): Clase I, pero si incluye monitorización de parámetros vitales debe ser clasificado en Clase IIa.
- Sistema de Almacenamiento de ECG: Clase I, pero dependiendo de lo que manifieste el fabricante puede ser clasificado en Clase IIa.
- Sistema de Imagen Retinal: dependiendo de lo que manifieste el fabricante frente a los riesgos identificados, debe ser calificado al menos en Clase I.
- Sistema de Comunicación de Archivos de Imagen (PACS, *Picture Archiving and Communication System*). Considera varios tipos:
 - De visualización, almacenamiento y transmisión de imágenes: Clase I.
 - Sólo de almacenamiento: no es considerado un dispositivo médico.
 - De post-procesamiento para diagnóstico: Clase IIa o IIb.
 - De mejora de la imagen mediante el control de la adquisición: Clase IIa o IIb.
- Sistema de Información Radiológica (RIS, *Radiological Information System*): dependiendo de lo que manifieste el fabricante frente a los riesgos identificados, debe ser calificado al menos en Clase I.
- Sistema de Telemedicina: menciona algunos tipos de aplicaciones y concluye que dependiendo de lo que manifieste el fabricante frente a los riesgos identificados, debe ser calificado al menos en Clase I.
- Sistemas Web para Monitoreo de Dispositivos Médicos: menciona como ejemplos el monitoreo de implantes activos como marcapasos y desfibriladores, y el monitoreo de dispositivos de diagnóstico *in vitro* como bombas de insulina o contadores de azúcar en la sangre. Concluye que, teniendo en cuenta que se registran o monitorean parámetros vitales, deben ser clasificados como Clase IIa o IIb.

Como se observa, este punto no es para nada un tema menor si lo que se quiere es lograr que los sistemas desarrollados puedan ser utilizados con el mínimo riesgo por las poblaciones de países en desarrollo. Es sabido que estos ensayos son llevados a cabo sobre el producto final por el fabricante del mismo. Ello conlleva que deben establecerse relaciones de vinculación tecnológica entre los desarrolladores y los fabricantes que garanticen la producción a escala adecuada, con las homologaciones pertinentes, y a costos consensuados entre ambas partes.

Los sistemas de telemedicina pueden clasificarse desde varios puntos de vista; por ejemplo, pueden ser de tiempo real o de almacenamiento y envío (*store and forward*); pueden ser aplicaciones cliente-servidor, distribuidas, punto a punto, etc.

En todos los casos, hay que asegurarse de que la información que se utilice para hacer diagnóstico se almacene en servidores con una referencia inequívoca a su origen, datos que permitan identificar al paciente, datos cronológicos y toda aquella documentación que, en caso de duda diagnóstica, segundas consultas o incluso problemas legales, pueda servir para aclarar o dirimir cuestiones tan diversas como las mencionadas.

7.1.2. Consideraciones generales de diseño y selección

La elección de las herramientas adecuadas de telemedicina debe basarse primariamente en la disponibilidad de telecomunicaciones en la población destinataria. De esta disponibilidad, calidad de la misma y capacidades de envío de datos dependerá que los sistemas sean de tiempo real o de almacenamiento y envío. Deberá estudiarse si es necesario crear nueva infraestructura o puede utilizarse la ya existente.

Este punto no constituye una limitante insalvable para los servicios a implementar, ya que hay experiencias exitosas donde la red de datos se construye con radios VHF, de un limitado ancho de banda, y aún así es posible enviar datos adjuntos de calidad diagnóstica mediante correo electrónico. Sí puede ser que la limitante de ancho de banda se vea reflejada en una necesidad de mayor entrenamiento o puesta a punto entre el personal de salud de los sitios remotos y los centros especialistas. Por ejemplo, para hacer teleestetoscopia (cuyo ideal es realizarla en tiempo real) debería conocerse la posición de los puntos de auscultación y tener constancia de ellos mediante una fotografía, para mejorar la comprensión de los lugares de origen de los sonidos enviados para diagnóstico.

El paso siguiente es analizar cuáles son las herramientas que satisfacen la demanda local de la población destinataria. Este análisis puede llevarse a cabo a partir de los datos históricos e indicadores obtenidos de los archivos de salud de la región, y luego ser priorizados conjuntamente con los gestores gubernamentales. Seguidamente deberá entrevistarse a los potenciales usuarios para establecer, por ejemplo, el nivel de capacitación que tendrá que brindarse previo a la implantación del sistema, el tipo y características de la interfaz de control de la aplicación que deberá desarrollarse, etc.

Es conveniente que la decisión de diseño de las interfaces de usuario del sistema se tome consultando a la mayor cantidad de usuarios finales posible, para poder abarcar un mayor universo inclusivo.

La provisión de energía para el funcionamiento de estos sistemas es un tema que no debe menospreciarse. La falta de energía eléctrica domiciliaria, o su provisión por breves lapsos de tiempo, hacen indispensable optimizar los diseños de electrónica y la selección de equipos y componentes, para lograr el mejor rendimiento energético. Es usual utilizar paneles solares como fuente de energía, y cada vatio provisto por estos sistemas tiene una incidencia sobre el costo total bastante alta.

Finalmente, es necesario contemplar qué sucede cuando hay dificultades de conectividad. Hay que preparar a los usuarios para este tipo de contingencias, considerar en los diseños sistemas redundantes de telecomunicaciones o medios alternativos para que la dependencia creada (nos guste o no) con estos sistemas no se vuelva en contra por fallas que toman tiempo en ser resueltas.

7.1.3. Respeto del Acto Médico

Es importante examinar varios aspectos de la telemedicina desde el punto de vista legal. En muchos de los países destinatarios de la cooperación al desarrollo no se dispone de las condiciones necesarias para hacer telemedicina desde el punto de vista legal, lo que genera resistencia por parte de los potenciales usuarios. Por ejemplo, sin ir más lejos, en Argentina sólo se legisló acerca de firma digital en el año 2007, y en el 2010 se amplió la legislación para permitir que la firma digital pueda ser utilizada en sistemas de salud. La informatización de la historia clínica, que debería ser una condición imprescindible para hacer Historia Clínica Electrónica según algunos autores, está muy lejos de ser implementada en nuestros países.

Es por ello que los grupos generadores de tecnología deben tomar los recaudos necesarios para asegurar que el acto médico con servicios de telemedicina cumpla con todas las exigencias de seguridad de datos, confidencialidad, etc. que se imponen en los países desarrollados.

Otro inconveniente puede ser el que ocasiona la redundancia de los informes a generar por cada práctica. Esto es, los profesionales de salud, además de tener que cumplir con el papeleo que se les exige para sus ocupaciones habituales “analógicas”, deben también llenar los formularios digitales que conforman la documentación en telemedicina.

No se debe olvidar la generación de dividendos económicos y el reconocimiento de las actividades de telemedicina como “práctica médica”. En varias regiones de Sudamérica la telemedicina no es reconocida como práctica médica, por lo que los profesionales no pueden cobrar por ejercerla, y en algunos casos las consultas con herramientas de telemedicina son desconocidas por los empleadores de estos profesionales, lo que les ocasiona problemas laborales.

En las siguientes secciones se describirán los sistemas desarrollados por los autores para la provisión remota de información diagnóstica de estetoscopia, cardiología y microscopía óptica. Esta información corresponde a desarrollos llevados a cabo en proyectos colaborativos, con la finalidad de lograr prototipos precomerciales de sistemas de telemedicina probados en la red EHAS del río Napo (Perú).

7.2. Sistema de teleestetoscopia para el apoyo al diagnóstico y seguimiento de IRA

Se intentará en esta sección recorrer el camino entre la generación de sonidos corporales y su utilización diagnóstica a distancia o teleestetoscopia. Se considera conveniente no

dejar de lado una breve introducción a los fenómenos acústicos donde todo empieza en realidad.

7.2.1. Origen de los sonidos cardíacos

Normalmente hay dos sonidos del corazón, señalados como S_1 y S_2 en la Figura 7.1. El primer sonido (S_1) se escucha en relación con el cierre de las válvulas aurículo-ventriculares (AV), y se cree que incluye cuatro componentes principales. Las primeras vibraciones se producen cuando la primera contracción del ventrículo provoca el movimiento de sangre hacia las aurículas, cerrando las válvulas AV. La segunda componente es causada por la abrupta tensión de cierre de las válvulas mencionadas, desacelerando la sangre. El tercer componente involucra la oscilación de la sangre entre la raíz de la aorta y las paredes ventriculares, y el cuarto componente representa vibraciones causadas por la turbulencia en la sangre que fluye expulsada desde la aorta [120].

El segundo sonido (S_2) señala el final de la sístole y el comienzo de la diástole, y es escuchado en el momento del cierre de las válvulas aórtica y pulmonar. S_2 es probablemente el resultado de las oscilaciones en el sistema causadas por la desaceleración y la inversión de flujo en la aorta y la arteria pulmonar.

Existen también un tercer y un cuarto sonidos cardíacos (S_3 y S_4), mucho menos intensos que los anteriores. Los dos están relacionados con el período de llenado diastólico. La fase de llenado rápido se inicia con la apertura de las válvulas semilunares (aórtica y pulmonar). La mayoría de los investigadores atribuyen S_3 a la energía liberada con la repentina desaceleración de la sangre que entra en el ventrículo a lo largo de este período. Un cuarto sonido (S_4) se puede producir durante la sístole auricular, donde la sangre se ve obligada a ingresar en los ventrículos; si el ventrículo está rígido, la fuerza de la sangre al ingresar en el ventrículo es mayor, y el resultado es un efecto de sonido de impacto al final de la diástole.

7.2.2. Soplos cardíacos

Los soplos son producidos por el flujo turbulento de sangre como resultado de la reducción de diámetro o fugas en las válvulas, o de la presencia de pasajes anormales entre cavidades en el corazón. Más concretamente, los soplos cardíacos ocurren cuando el flujo sanguíneo se acelera por encima de un valor denominado el número de Reynolds. El flujo sanguíneo resultante induce vibraciones aleatorias no estacionarias que se transmiten a través de los tejidos cardíacos y torácicos hasta la superficie del tórax. Hay cinco factores principales que intervienen en la producción de soplos [120]:

- Las altas tasas de flujo a través de las válvulas.
- Flujo restringido a través de una válvula (estenosis).
- Retroceso de flujo a través de una válvula incompetente (insuficiencia o regurgitación).

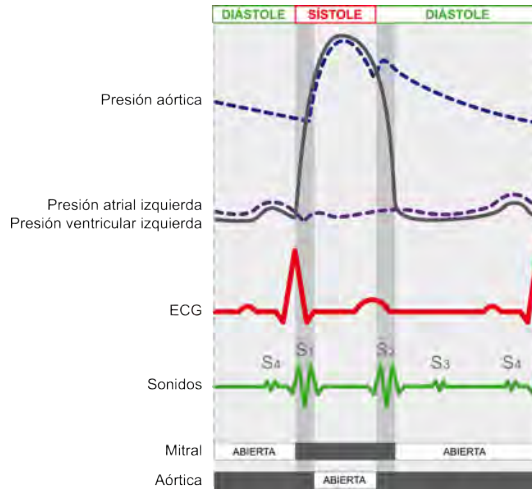


Figura 7.1.: Ciclo cardíaco.

- Una conexión anormal entre el lado izquierdo y el lado derecho del corazón (defectos septales).
- Disminución de la viscosidad, que causa el aumento de la turbulencia.

Los soplos cardíacos son clasificados por su intensidad, del I al VI. El grado I es muy débil y sólo se escucha con especial esfuerzo, en tanto el grado VI es muy alto y acompañado de una vibración palpable.

Cuando la intensidad de los soplos sistólicos adopta una forma ascendente-descendente y finaliza antes de una de las componentes de S_2 , se asume que hay un soplo de eyección (S_2 tiene dos componentes, uno de la válvula aórtica y otro de la pulmonar).

También hay soplos debido al flujo inverso a través de las válvulas atrioventriculares, que son de mayor intensidad incluso en toda la sístole y alcanzan a uno o los dos componentes de la S_2 . Si el soplo sistólico regurgitante comienza con S_1 se llama holosistólico, y si comienza a mediados o fines de la sístole se denomina soplo sistólico regurgitante tardío. Además de soplos, también se puede escuchar un chasquido de eyección durante la sístole, causado a menudo por anomalías en las válvulas aórtica o pulmonar. De igual manera se detectan diferentes soplos en la diástole, pero esos sonidos diastólicos no han sido considerados en el desarrollo presentado aquí.

7.2.3. Rango de los sonidos cardíacos

Los rangos de frecuencia característicos de los sonidos y soplos cardíacos son:

- Primer y segundo sonidos (S_1 y S_2): 20–150 Hz.
- Tercer y cuarto sonidos (S_3 y S_4): 20–70 Hz.
- Soplos de eyección: 150–500 Hz.

- Regurgitación aórtica o mitral: 175–950 Hz.
- Estenosis mitral: 25–80 Hz.

Siendo el rango de audición humana “promedio” de 45 Hz a 15 kHz.

Alternativamente, según los principios de la fonocardiografía, que trata de las características de estas señales y las técnicas de análisis que les son de aplicación, las frecuencias características de los principales sonidos y soplos son:

- Primer sonido (S_1): 10-50 Hz (BF), 50-140 Hz (MF) ó 91-179 Hz (media = 127 Hz).
- Segundo sonido (S_2): 10-80 Hz (BF), 80-200 Hz (MF), 220-400 Hz (AF) ó 145-200 Hz (media = 170 Hz).
- Soplos: hasta 600 Hz, inocentes (no patológicos) 100 Hz.

A los fines prácticos, el límite de frecuencia inferior puede estipularse en 20 Hz, lo que permite resaltar los sonidos frente al ruido si se posee una buena relación señal a ruido.

Respecto a las frecuencias de muestreo, teniendo en cuenta el teorema de Nyquist, si el ancho de banda de la señal a digitalizar es de 1.500 Hz, solo sería necesario un muestreo al doble de la mencionada frecuencia para poder obtener una señal digital representativa. Evaluando el costo-beneficio, hemos decidido elevar esa frecuencia de muestreo a un mínimo de 8 kHz (sobremuestreo/*oversampling*) teniendo el sistema la posibilidad de llegar hasta 96 kHz de ser necesario.

7.2.4. Auscultación

Auscultación es el término técnico con que se nombra a la escucha de los sonidos internos del cuerpo. La intensidad de los distintos componentes sonoros varía de acuerdo con la ubicación del captador; por ejemplo, cuando se escucha sobre el ápice del corazón, S_1 es más fuerte que S_2 . Además, la ubicación de un soplo a menudo indica su origen; por ejemplo, los soplos de la válvula mitral son por lo general más ruidosos en la zona de auscultación mitral [120].

Las zonas tradicionales de auscultación que pueden utilizarse como referencia son (Figura 7.2):

- Mitral (M): El ápice cardíaco.
- Tricúspide (T): El cuarto y quinto espacio intercostal izquierdo a lo largo del borde izquierdo del esternón.
- Aórtica (A): El segundo espacio intercostal a lo largo del borde derecho del esternón.
- Pulmonar (P): El segundo espacio intercostal a lo largo del borde izquierdo del esternón.

Durante la auscultación, la identificación de los sonidos del corazón y soplos se basa principalmente en el tono y el momento de los sucesos. Los médicos hablan de la auscultación como un arte. El diagnóstico a menudo se basa en una sensación que es difícil de explicar, y aún más difícil de detectar o simular con una computadora.

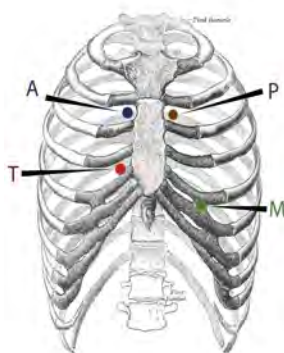


Figura 7.2.: Puntos de auscultación. Basada en: Vinne2. Dominio Público. Disponible en http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heart_sounds_auscultation_areas.svg.

7.2.5. estetoscopia

Los estetoscopios acústicos convencionales transmiten el sonido mecánicamente desde el captador a través de conductos huecos de goma que terminan en dos piezas llamadas olivas, y que introducidas en el oído sirven para escuchar los sonidos que atraviesan la goma. En el captador, el diafragma y la campana trabajan como filtros, transmitiendo sonidos de alta o baja frecuencia respectivamente [120].

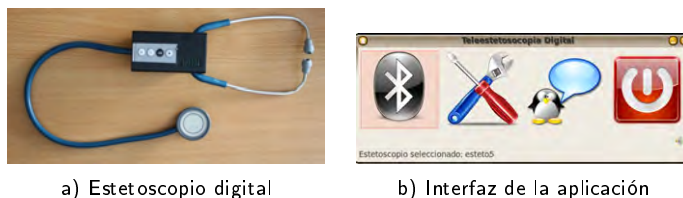
Los estetoscopios electrónicos funcionan de una manera similar, pero el sonido es convertido en una señal electrónica que es transmitida mediante cables. Entre las ventajas de estos últimos se pueden enumerar la amplificación de la señal, el filtrado emulando los modos campana o diafragma, y en algunos modelos, la posibilidad de almacenamiento de la señal.

Los sonidos y soplos cardíacos son de baja intensidad relativa y se encuentran en un ancho de banda comprendido entre los 10 y los 1.500 Hz.

Debido a que nuestro sistema auditivo está preparado principalmente para captar sonidos entre los 40-50 Hz y los 5 kHz (el espectro de la voz), se explica por qué los especialistas a veces encuentran más sencillo detectar sonidos por palpación que por auscultación. Parte de este problema puede ser corregido por amplificación del sonido y su procesamiento o filtrado. La estetoscopia digital agrega a la estetoscopia electrónica la capacidad de procesar la señal en tiempo real, lo que podría permitir por ejemplo la escucha de diferentes tipos de soplos, aislados del resto de los ruidos cardíacos o respiratorios captados por el sistema, e incluso la transmisión de estos sonidos a distancia para interconsulta simultánea entre varios profesionales.

7.2.6. Estetoscopio digital para telemedicina

Se presenta el diseño de un estetoscopio digital que permite el envío de información vía Internet entre un puesto de salud y un centro médico de mediana o alta compleji-



a) Estetoscopio digital

b) Interfaz de la aplicación

Figura 7.3.: Estetoscopio Digital Bluetooth EHAS-Fundatel.

dad (Figura 7.3).

Las consideraciones de diseño son las siguientes:

- Portabilidad y rapidez de adaptación: en la medida de lo posible el diseño debe ser usable para el personal de salud con un mínimo de entrenamiento.
- Conectividad: el sistema debe permitir la escucha simultánea con calidad diagnóstica ya sea en modo local o con una conexión por Internet.
- Ergonomía: se propuso que el diseño definitivo luzca similar al estetoscopio acústico convencional, para minimizar el impacto de adaptación al uso del mismo.
- Capacidad de ampliación: en el diseño electrónico se contempló la posibilidad de ampliar la funcionalidad con diversos tipos de filtrado, conectividad y procesamiento digital de las señales.

A los fines prácticos, se ha considerado el desarrollo con los siguientes parámetros de diseño electrónico:

- Rangos de frecuencia ajustables (Campana 0-500 Hz, Diafragma 0-1.000 Hz, Extendida 0-1.500 Hz).
- Control de volumen.
- Interfaz de usuario ergonómica.
- Frecuencia de muestreo mínima de 8 kHz.
- Latencia de procesamiento menor de 20 ms.
- Rango dinámico mejor que ~ 75 db.
- Distorsión Armónica Total menor de 0,1 %.
- Conexión remota por Bluetooth.

La plataforma de desarrollo utilizada se basa en un circuito códec controlado por un microcontrolador, el cual se encarga también de manejar la interfaz de usuario y las comunicaciones con el módulo Bluetooth. Se ha elegido un códec que posee características superiores a las requeridas por el diseño, contemplando la posibilidad de ampliación de prestaciones a futuro y versatilidad de uso.

El sistema de teleestetoscopia debía ser capaz de enviar la totalidad de los datos a velocidades cercanas al tiempo real. Para ello se hicieron pruebas de procesamiento

modulares y se optimizaron los intervalos de interrupciones y la disponibilidad de datos para el envío.

El estetoscopio digital Bluetooth EHAS-Fundatel no es en sí mismo un estetoscopio, sino más bien un dispositivo de digitalización y reenvío en tiempo real de audio sobre redes IP, específicamente diseñado para respetar la calidad de sonidos cuyo espectro tiene una gran cantidad de componentes de baja frecuencia. La ventaja añadida de esta solución reside en la posibilidad de conectar al dispositivo las olivas y la campana que el usuario decida, ensamblando así el teleestetoscopio con las características mecánicas a las que el profesional de medicina está acostumbrado.

El “sistema de teleestetoscopia inalámbrica en tiempo real sobre IP” permite transformar un estetoscopio convencional en un teleestetoscopio. El sistema comprende unos tubos de estetoscopia, donde se conecta la campana y las olivas del estetoscopio convencional. Estos tubos entran en un gabinete central que contiene el códec y toda la electrónica necesaria para el funcionamiento del sistema (Figura 7.3a).

Una vez digitalizada la señal, el microcontrolador gestiona el envío de este audio con dos modos de operación:

- En el modo local, el microcontrolador envía el audio capturado de vuelta hacia el códec para que, en su etapa final, realice la operación inversa de conversión digital a analógica, y de ahí pueda ser encaminado hacia un auricular de alta fidelidad que reproducirá el sonido en las olivas. En este modo de operación, el estetoscopio se encuentra realizando la misma función que un estetoscopio clásico analógico.
- En el modo remoto, el microcontrolador, además de enviar el audio al bucle local para que pueda ser escuchado por la persona que se encuentra auscultando, lo envía también hacia un circuito integrado de Bluetooth. Este audio se envía codificado en un formato que adapta el sonido a las características de la transmisión Bluetooth. Luego este sonido puede enviarse a una aplicación de VoIP.

El PC remoto puede también decidir varios destinos para el audio recibido en la aplicación de VoIP:

- El envío hacia otro estetoscopio digital EHAS-Fundatel, gemelo al anterior, que permite la escucha en tiempo real del sonido resultado de la auscultación del estetoscopio emisor.
- El envío a la tarjeta de sonido del PC remoto, que permite, al igual que se hizo en el PC emisor, el almacenamiento, procesamiento, retransmisión y reenvío del audio recibido.

Toda la operación ocurre en tiempo real y es completamente bidireccional.

El sistema descrito permite que un médico remoto dirija en tiempo real la captura (por parte de personal no médico) de sonidos de estetoscopia, permitiendo un diagnóstico remoto de enfermedades cardiopulmonares (sistema de telediagnóstico). Una variante de esta modalidad (sistema docente) permite que un número de alumnos en



Figura 7.4.: Escenario de telediagnóstico o escenario médico.

una sala de computadoras puedan escuchar, a la vez y en tiempo real, los sonidos cardiorrespiratorios que esté capturando el profesor.

El “sistema de teleestetoscopia inalámbrica en tiempo real sobre IP” pretende resolver, en primer lugar, la problemática de los establecimientos de atención primaria de salud de zonas rurales de países en desarrollo, que en muchas ocasiones no están atendidos por médicos sino por técnicos de salud sin formación suficiente para diagnosticar patologías cardiorrespiratorias a través de estetoscopia. El sistema permite que un médico remoto guíe en la auscultación al técnico local a través de videoconferencia, y escuche en tiempo real los sonidos cardíacos y pulmonares para emitir un diagnóstico. Esto evita viajes innecesarios a los pacientes y produce, sobre todo en dichas zonas rurales aisladas, ahorros muy importantes tanto al sistema de salud como a los pacientes.

Los escenarios de aplicación para los que este dispositivo presenta un potencial especial son:

Escenario de telediagnóstico o escenario médico. Se trata del escenario que se ha venido utilizando en toda la descripción del dispositivo. En él, un médico remoto puede emitir un diagnóstico con base en los sonidos e imágenes que son enviados desde un puesto de salud aislado (Figura 7.4).

Escenario docente. Es otra aplicación del dispositivo que tiende a resolver un problema de la docencia en las facultades de medicina. El problema con los estetoscopios analógicos es que, dado que los binaurales no permiten compartir el sonido con los alumnos, el docente tiene que cederlos a éste, perdiendo la capacidad de poder guiarle en la interpretación de los sonidos que está escuchando en directo. Una solución analógica suelen ser los estetoscopios para docencia, donde en lugar de 2 binaurales los tubos de estetoscopia derivan en 4 binaurales. No obstante esto sólo permite la escucha al profesor y un único alumno.

Mediante el uso del sistema descrito pueden beneficiarse de la guía del docente tantos alumnos presentes o remotos como se desee (Figura 7.5), e incluso se podría almacenar la lección para ser posteriormente reproducida, aplicar filtros en tiempo real para acondicionar mejor la señal, o post-procesarla con alguna aplicación de apoyo al diagnóstico.



Figura 7.5.: Escenario de aplicación docente.

Además de lo mencionado, el estetoscopio podría presentar utilidad en escenarios de catástrofe humanitaria, donde el despliegue rápido de equipos médicos en la zona de catástrofe puede decidir la vida de muchas personas. En estas condiciones, y bajo la precondition de que exista un despliegue rápido de una mínima infraestructura de telecomunicaciones, equipos médicos de rescate podrían apoyarse en el diagnóstico realizado por personal médico situado en un centro de control, que recibiera los sonidos de todos los equipos desplegados sobre la zona. Asimismo, en una situación de catástrofe por terremoto, derrumbe o corrimiento de tierras, el dispositivo podría ayudar, gracias a su amplificación digital, a detectar personas enterradas vivas, e incluso podría esta utilización motivar investigaciones en el ámbito del tratamiento de la señal, pudiéndose estudiar cómo detectar de forma automática la presencia de sonidos de procedencia humana, para apoyar la actuación de los equipos de rescate.

Algunas características del estetoscopio digital Bluetooth EHAS-Fundatel:

- Frecuencia de muestreo del códec: 8.000 muestras/s.
- Resolución de la muestra: 16 bits.
- Ancho de banda del dispositivo: 6 Hz-4 kHz.
- Ancho de banda soportado por los componentes electrónicos: 6 Hz-23,5 kHz.

7.2.7. Acto Médico en teleestetoscopia

El paciente deberá ser sometido a los estudios de laboratorio que sean necesarios y éstos deberán estar disponibles para la consulta. El paciente deberá ser informado de la modalidad de la consulta y debería firmar un consentimiento escrito para que ésta se realice.

En caso de una consulta en diferido, se acordará con el paciente la realización de la auscultación digital en los puntos que correspondan según la patología, cuyas señales se almacenarán de acuerdo a los requerimientos antes mencionados en la computadora del establecimiento de salud para su posterior envío junto con todos los estudios e información que el personal de salud crea necesaria o que el especialista haya solicitado

para el caso. El especialista analizará la información en su consultorio o centro de referencia, determinando si es suficiente para un diagnóstico, y de serlo enviará como respuesta el diagnóstico y su firma digital.

En el caso de una consulta en tiempo real, se acordará la fecha y hora con el centro de referencia diagnóstica y se notificará debidamente a todos los participantes.

En el momento del acto médico, deberán repetirse las explicaciones del caso y el personal no especialista brindará toda la información requerida respecto del paciente. Seguidamente el médico especialista podrá dialogar tanto con el paciente como con el personal de salud para despejar cualquier duda diagnóstica y dar las indicaciones del caso, guiando al personal de salud y paciente en cuanto a los puntos de auscultación y posiciones a adoptar.

Finalmente, los profesionales intervinientes en la consulta tanto en diferido como en tiempo real elaborarán una nota médica de acuerdo a los requerimientos gubernamentales que correspondan y la archivarán en los expedientes clínicos y del paciente.

7.3. Sistemas de telecardiología para el apoyo al diagnóstico y seguimiento de ECV

7.3.1. Sistemas de telecardiología

Se puede definir a la telecardiología como una aplicación de la telemedicina dedicada al estudio preventivo, diagnóstico y práctica médica de enfermedades cardiovasculares.

Son objetivos primarios de este servicio tanto permitir la interconsulta o segunda opinión médica en casos complejos, como brindar acceso a diagnóstico en casos generales cuando no se disponga de personal de salud capacitado para hacerlo.

Un sistema de telecardiología está compuesto por:

- Un terminal de captura, almacenamiento y envío de datos de ECG de 12 derivaciones con calidad diagnóstica.
- Capacidad de conexión a Internet por Wi-Fi, Bluetooth o Ethernet.
- Un servidor que recibe, procesa y muestra las señales capturadas, posee herramientas de ayuda al diagnóstico, y garantiza el almacenamiento y la seguridad de los datos médicos.

7.3.1.1. Terminal de captura

Existen varias maneras de llevar a cabo la captura del ECG. Se puede utilizar cualquier equipo ECG disponible y, mediante técnicas y circuitos adecuados, digitalizar su salida y almacenar los datos obtenidos en un archivo para su posterior envío y análisis, o hacer el envío en tiempo real.

Es posible desarrollar un electrocardiógrafo digital propio, en tanto y cuanto se cumpla con los pasos necesarios de ensayo y homologación antes de su puesta en marcha con pacientes. En este caso, la ventaja evidente es que se tiene control sobre los circuitos y programas, lo que permitirá trabajar con libertad en la creación de nuevas herramientas o técnicas de diagnóstico.

Al momento de definir la forma de adquisición y digitalización de la señal ECG, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones técnicas:

- De ser posible, deberán adquirirse las 12 derivaciones cardíacas.
- El ancho de banda debe ser de 0,05 a 30 Hz para **monitoreo**.
- El ancho de banda debe ser de 0,05 a 100 Hz para **diagnóstico**.
- Debe obtenerse elevado rechazo a las frecuencias de 50/60 Hz.
- La digitalización debe efectuarse con 10 bits de resolución para **monitoreo** y al menos 12 bits de resolución para **diagnóstico**.
- Deberán hacerse correcciones de línea de base para evitar derivaciones asociadas al ritmo respiratorio o movimientos musculares.
- Deberán adquirirse al menos 10 segundos de señal por cada derivación.
- Una vez digitalizado el ECG, el archivo podrá enviarse en tiempo real o diferido hacia el sitio donde se encuentre el especialista, quien deberá almacenar la señal con los recaudos requeridos para el caso y luego visualizar el archivo en el servidor de diagnóstico e informes.

7.3.1.2. Análisis e informes en telecardiología

A los efectos de optimizar resultados, es deseable que en el servidor se pueda contar con:

- Generación de 1 mV para calibración.
- Calibración del tamaño de pantalla de visualización para lograr emular físicamente las dimensiones de una tira electrocardiográfica de papel.
- Grilla calibrada para mediciones tanto en tiempo como en amplitud (Figura 7.6).
- Caliper para hacer mediciones sobre la señal en los dos ejes.
- Almacenamiento de los datos con seguridad de acuerdo a los requisitos de Historia Clínica Electrónica.
- Capacidad de imprimir y enviar los reportes sobre las señales.

Con estas especificaciones, desarrolladas con buenas prácticas, sólo resta analizar cómo sería el acto médico.

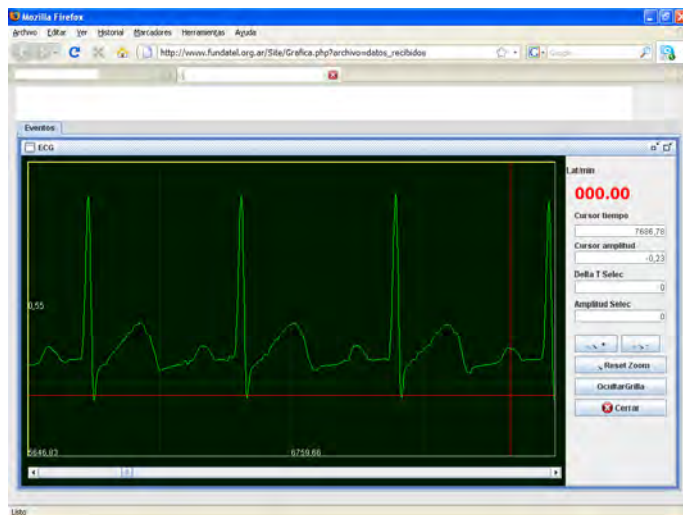


Figura 7.6.: Aplicación de telecardiología.

7.3.2. Acto Médico en telecardiología

El paciente deberá ser sometido a los estudios de laboratorio que sean necesarios y éstos deberán estar disponibles para la consulta.

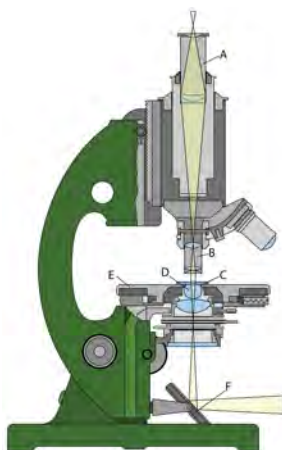
El paciente deberá ser informado de la modalidad de la consulta y debería firmar un consentimiento escrito para que ésta se realice.

En caso de una consulta en diferido, se acordará con el paciente la realización de un ECG de 12 derivaciones, el que se almacenará de acuerdo a los requerimientos antes mencionados en la computadora del establecimiento de salud para su posterior envío junto con todos los estudios e información que el personal de salud crea necesaria o que el especialista haya solicitado para el caso. El especialista analizará la información en su consultorio o centro de referencia, determinando si es suficiente para un diagnóstico, y de serlo enviará como respuesta el ECG anotado con el diagnóstico y su firma digital.

En el caso de una consulta en tiempo real, se acordará la fecha y hora con el centro de referencia diagnóstica y se notificará debidamente a todos los participantes.

En el momento del acto médico, deberán repetirse las explicaciones del caso y el personal no especialista brindará toda la información requerida respecto del paciente. Seguidamente el médico especialista podrá dialogar tanto con el paciente como con el personal de salud para despejar cualquier duda diagnóstica y dar las indicaciones del caso.

Finalmente, los profesionales intervinientes en la consulta tanto en diferido como en tiempo real elaborarán una nota médica de acuerdo a los requerimientos gubernamentales que correspondan y la archivarán en los expedientes clínicos y del paciente.



A) ocular, B) objetivo, C) portaobjeto, D) lentes de iluminación,
E) platina, F) espejo de iluminación

Figura 7.7.: Microscopio óptico. Fuente: Tomia. Licencias GFDL y CC BY-SA 3.0.
Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Microscope-letters.svg>.

7.4. Sistemas de telemicroscopía para el apoyo al diagnóstico y seguimiento de EDA y otras patologías materno-infantiles

7.4.1. Consideraciones generales

Para arribar a la descripción de un sistema de telemicroscopía óptica y justificar la selección de las características técnicas que deben tener los dispositivos que lo componen, es necesario hacer una rápida descripción de sus partes constituyentes.

Se puede describir un sistema de microscopía óptica como aquél compuesto por una fuente de iluminación, un corte fino de material o tejido que no supere las $200\ \mu\text{m}$ de espesor y una serie de lentes con características físicas determinadas, cuya salida es captada por el ojo humano (Figura 7.7).

Un sistema de microscopía óptica digital está compuesto también por esos mismos bloques, pero su salida es capturada por una cámara electrónica que traduce los fotones en electrones; la imagen electrónica es enviada a una computadora que la muestra en su monitor, donde es captada por el ojo humano. En este caso se suman elementos que pueden causar distorsión si no son seleccionados y configurados adecuadamente.

En un microscopio convencional, la distorsión de color es un factor controlado e intrínseco de los materiales y forma constructiva de sus lentes. En cambio, en un sistema digital de imágenes, la respuesta al color tiene que ver con la calibración de color de la cámara, de la tarjeta de video y del monitor utilizado para la visualización.

Lo mismo ocurre respecto a la calidad de la información capturada: una cámara para digitalización en microscopía óptica aplicada al diagnóstico debe ser sometida a ensayos que determinen sus características técnicas particulares, como por ejemplo cantidad de píxeles activos, ruido de fondo, respuesta al color, etc.

7.4.2. Diagnóstico con microscopía óptica y digital

La microscopía óptica convencional está ampliamente difundida como herramienta de asistencia al diagnóstico en el ámbito de la salud pública. En la mayoría de los métodos de diagnóstico que la utilizan, la muestra es sometida a un procesamiento previo que implica varias reacciones químicas que tienen como resultado una tinción o variación de la coloración sobre un fondo determinado de las estructuras de interés (preparación).

Esta información es la que utiliza el experto microscopista para determinar la presencia o ausencia de una patología. Cuando se utiliza un sistema de microscopía digital, es decir, donde la imagen es capturada por una cámara digital y enviada a una computadora, es necesario llevar adelante una serie de pasos con el fin de asegurar que la información que es visualizada en la pantalla de la computadora reproduce de la manera más exacta posible la imagen que el observador ve directamente sobre el ocular del microscopio.

Como en todos los casos en los cuales se convierte la información de algún sistema desde el mundo analógico al digital, cuando se digitaliza una imagen real se pierde información debido a la misma conversión, lo que puede tener consecuencias sobre el diagnóstico. Esta pérdida de información se transforma en una deficiencia en la reproductibilidad de tonos de color de la muestra.

Aún siendo escasa la incidencia de errores debido a la calibración digital, sobre sistemas de microscopía digital autónomos y sobre la operación de técnicos experimentados, no se debería subestimar cuando actúa sobre el diagnóstico. En estos casos, es necesario asegurarse de que tanto lo visualizado en el microscopio como lo que se observa en la pantalla de la computadora, una vez digitalizada la imagen, reproduzca de manera lo más exacta posible la paleta de colores.

En [121] se presenta un excelente análisis de los aspectos de la imagen digital relacionados con la calidad de las preparaciones virtuales (la imagen digital obtenida a partir de una preparación): dimensión en píxeles, resolución espacial (ppp o dpi), tamaño de los archivos, sistemas de compresión (JPEG, JPEG2000), formatos de archivo (JFIF, JP2, TIFF, GIF) y rango dinámico.

Por otra parte, en [122], que describe cómo ensamblar una estación de trabajo de telemicrobiología utilizando componentes de consumo y programas de código abierto, analiza las restricciones físicas y biofísicas que deben tenerse en cuenta en la microscopía digital.

7.4.3. Sistema de telemicroscopía

Partiendo de las consideraciones expuestas en los apartados precedentes, se han identificado los factores preponderantes y las limitaciones de un sistema de telemicroscopía a ser usado en el apoyo al diagnóstico. El camino a seguir supone una convergencia de los requerimientos técnicos del sistema de microscopía óptica digital, del manejo de los archivos obtenidos y su compresión sin pérdida (usando por ejemplo JPEG2000) y de la densidad de imagen necesaria para cumplir con los protocolos diagnósticos de la OMS.

Como en los casos de aplicación del sistema desarrollado tienen un peso determinante los conocimientos y el nivel de capacidad diagnóstica de los técnicos de salud, se puede considerar una simplificación permitiendo que éstos seleccionen las imágenes dudosas a su entender y las envíen con una referencia contextual adecuada de la muestra. Este procedimiento se puede llevar a cabo utilizando software libre tanto para la captura como para el envío de imágenes (hemos realizado pruebas con ImageJ y el sistema lpath/Telemedmail que han dado resultados satisfactorios) o mediante video en tiempo real. La elección obviamente depende del ancho de banda y la disponibilidad de conectividad adecuada entre los nodos.

Las cámaras digitales utilizadas en la captura de la imagen deben ser aquellas específicamente diseñadas para microscopía, dado que están preparadas para evitar distorsiones en las imágenes mediante una adecuada selección de las calidades de los circuitos integrados sensores, los componentes ópticos y de montaje y alineación.

Un factor de peso es la reproductibilidad de las características de la imagen en todos los nodos de la red de telemicroscopía. En los sistemas de diagnóstico por imágenes se utiliza habitualmente equipo homologado y ensayado (sistemas DICOM⁴), razón por la cual un monitor DICOM tiene un costo 12 veces mayor a un monitor LCD convencional.

Una forma de garantizar la reproductibilidad de color podría ser contando con un sistema de medida y calibración de color en cada nodo de la red (nuestro grupo está desarrollando el equipo y la aplicación necesarios para ello) que además permita el intercambio de información entre los nodos para lograr ajustarlos de manera que las diferencias sean imperceptibles al ojo del operador. Esto a su vez permitiría no tener que utilizar exactamente el mismo equipo en todos los nodos (aún así éste debería ensayarse para garantizar los resultados).

En los estudios previos llevados a cabo con técnicos de salud de la región de Loreto, Perú, pudimos verificar que con una buena reproductibilidad del color podían utilizarse resoluciones de imagen relativamente bajas (tanto como 800 x 600) y aplicar niveles de compresión de hasta el 40 %, y aún obtener resultados aceptables de diagnóstico. De todas maneras, estos resultados son provisorios y deben ser validados adecuadamente para lograr los niveles óptimos de calidad diagnóstica.

⁴ *Digital Imaging and Communication in Medicine*, estándar para el intercambio de imágenes médicas.