

## INGENIERÍA ESTADÍSTICA APLICADA A UN PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y PROMOCIÓN DE LA AUDICIÓN

ANDREA F. RIGHETTI<sup>1</sup>- SILVIA JOEKES<sup>1</sup>- SERGIO M. BUZZI<sup>1</sup>- RODRIGO PORTA<sup>1</sup>-MARIA V. BEDERIAN<sup>1</sup>- ESTHER C. BIASSONI<sup>2</sup>- MARIO R. SERRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Económicas-Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad Regional Córdoba-Universidad Tecnológica Nacional Córdoba, Argentina.

arighetti@unc.edu.ar-sjoekes@unc.edu.ar-sergio.buzzi@unc.edu.ar-  
portarodrigo@gmail.com-vbederian@gmail.com-cbiassoni@gmail.com-  
reneserra@gmail.com

Fecha recepción: marzo 2022 Fecha aprobación: octubre 2022

ARK CAICYT: <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18539777/5shwmawfa>

### RESUMEN

La Ingeniería Estadística se define como “una disciplina dedicada al arte y a la ciencia de resolver problemas complejos que requieren datos y análisis de datos”. Se focaliza en el estudio de la integración sistemática de conceptos, métodos y herramientas estadísticas, a menudo con otras disciplinas relevantes, para resolver problemas complejos y muchas veces no estructurados. La Asociación Internacional de Ingeniería Estadística (ISEA por sus siglas en inglés), propone una metodología global basada en el método científico y en el uso del pensamiento estadístico para abordar este tipo de problemas en diferentes fases. En este artículo se describe un caso de aplicación de Ingeniería Estadística a la problemática relacionada con la salud auditiva de adolescentes. Específicamente, la investigación tenía por objetivo encontrar una respuesta científica al alto porcentaje de jóvenes rechazados en el ingreso laboral en Argentina por afecciones auditivas, sin justificación clínica. Este problema dio origen a un Programa multidisciplinario y multiinstitucional que necesitó ser abordado desde diferentes áreas, incluyendo aspectos audiológicos, psicosociales, acústicos, genéticos y estadísticos. Se destacan las estrategias y técnicas llevadas a cabo para el análisis de los datos relevados que permitió establecer una campaña educativa de intervención para concientizar a los jóvenes sobre los efectos nocivos del ruido para la audición.

**PALABRAS CLAVE:** Pensamiento Estadístico - Ingeniería Estadística –Salud auditiva - Hipoacusia - Método Científico - Bioestadística.

### ABSTRACT

Statistical Engineering is defined as “a discipline dedicated to the art and science of solving complex problems that require data and data analysis”. It focuses on the study of the systematic integration of statistical concepts,

methods and tools, often with other relevant disciplines, to solve complex and often unstructured problems. The International Statistical Engineering Association (ISEA) proposes a global methodology based on the scientific method and the use of statistical thinking to address this type of problem in different phases. In this article, a case of application of Statistical Engineering to the problem related to the hearing health of adolescents is described. Specifically, the research aimed to find a scientific answer to the high percentage of young people rejected for employment in Argentina due to hearing disorders, without clinical justification. This problem gave rise to a multidisciplinary and multi-institutional program that needed to be approached from different areas, including audiological, psychosocial, acoustic, genetic and statistical aspects. The strategies and techniques carried out for the analysis of the collected data are highlighted, which allowed establishing an educational intervention campaign to make young people aware of the harmful effects of noise on hearing.

**KEYWORDS:** Statistical Thinking - Statistical Engineering - Hearing Health - Hearing Loss - Scientific Method - Biostatistics.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Asociación Internacional de Ingeniería Estadística (ISEA), creada en 2018, define la Ingeniería Estadística como: *“el estudio de la integración sistemática de conceptos, métodos y herramientas estadísticas a menudo con otras disciplinas relevantes, para resolver problemas importantes de manera sostenible”* (Hoerl & Snee, 2017, p212). Sin embargo, esta definición se encuentra en permanente revisión. En el año 2019, en el encuentro de la Red Europea de Estadísticas Empresariales e Industriales (ENBIS por sus siglas en inglés), se propuso como definición de Ingeniería Estadística: la solución ingenieril para problemas de naturaleza estadística a problemas grandes, complejos y no estructurados.

Una discusión de expertos acerca de esta disciplina puede encontrarse en una serie de artículos (Anderson-Cook *et al.*, 2012a) a partir de una publicación (Hoerl, & Snee, 2010a), en la cual algunos especialistas consideran entre otros aspectos, que los proyectos *“Six Sigma”* son claros ejemplos de casos simples de Ingeniería Estadística, mientras otros indican que precisamente el nivel de complejidad, el tiempo de desarrollo y la necesaria interdisciplinariedad es lo que los diferencia de aquellos. Del mismo modo establecen diferencias y similitudes con la Ciencia de Datos (Hoerl & Snee, 2017). También se ha debatido acerca del rol de los estadísticos para la resolución de este tipo de problemas en diferentes ámbitos, (Anderson-Cook *et al.*, 2012b; Hoerl & Snee, 2010b; Snee & Hoerl, 2012) y se ha investigado la metodología que se ha utilizado en diferentes disciplinas para resolver problemas grandes complejos y desestructurados (DiBenedetto *et al.*, 2014).

La teoría subyacente de la Ingeniería Estadística se enmarca en principios basados en una visión de la estadística como sistema, es decir, como

un conjunto de procesos interrelacionados para lograr un objetivo común (Hoerl & Snee, 2010b). Estos procesos se relacionan sobre la base de tres niveles de acción: un nivel estratégico, uno táctico y uno operacional. (FIGURA 1).

El “nivel estratégico” indica qué debe hacerse, mientras que el “nivel táctico” representa el nexo entre los principios del pensamiento estadístico y la utilización de métodos y herramientas estadísticas que se definen a “nivel operacional”, estableciendo cómo aplicarlas, asegurando cohesión y efectividad en la ejecución de los proyectos.



**FIGURA 1:** Estadística como sistema. Fuente: Hoerl & Snee, 2017.

El pensamiento estadístico se define como una filosofía de aprendizaje y acción basada en estos principios fundamentales: todo el trabajo se produce en un sistema de procesos interconectados; la variación existe en todos los procesos; comprender y reducirla son claves para el éxito (*American Society for Quality Statistics Division*, 1996).

El pensamiento estadístico opera a nivel estratégico mediante el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas en un contexto específico. Es un conocimiento holístico que se diferencia de un conocimiento inerte de la Estadística (Bakker & Derry, 2011). Se basa, entre otros aspectos, en el desarrollo del razonamiento estadístico, en la comprensión de conceptos, procedimientos, supuestos subyacentes, limitaciones y restricciones de los modelos y herramientas estadísticas necesarias para el análisis de datos (Wild & Pfannkuch, 1999). Este conjunto de conocimientos y sus habilidades asociadas son esenciales para la gestión exitosa y la mejora de cualquier proceso que requiera de datos, especialmente en la resolución de problemas complejos, grandes y desestructurados.

En este trabajo se presentan los principios fundamentales de Ingeniería Estadística, la metodología sugerida por ISEA con una breve descripción de las distintas fases y posteriormente un caso de aplicación a la salud auditiva, específicamente, el estudio del deterioro temprano de la función auditiva en la etapa adolescente, previo al ingreso laboral.

## 2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE INGENIERÍA ESTADÍSTICA

Los principios fundamentales de esta disciplina están basados en la comprensión del contexto del problema; el desarrollo de una estrategia de resolución; la consideración del origen (pedigrí) de los datos; la Integración del conocimiento o dominio sólido de la materia y la utilización de enfoques secuenciales (Hoerl & Snee, 2017). Una breve descripción de estos conceptos es:

- la “comprensión del contexto del problema” implica estudiar los antecedentes y los fundamentos del problema para una comprensión profunda de su complejidad;
- el “desarrollo de una estrategia de resolución del problema”, requiere de planificación y liderazgo de los proyectos a través del tiempo, para desarrollar un plan de abordaje que asegure que todos los miembros del equipo de diferentes áreas o disciplinas, estén enfocados en el mismo objetivo;
- la “comprensión del origen de los datos (o pedigrí)”, se refiere a la necesidad de documentar y especificar de dónde provienen los datos, cómo se recopilaron y qué información representan, para evaluar su pertinencia para la resolución del problema;
- el “conocimiento o dominio específico de la materia (dominio del campo del problema)” incluye todo lo que se sabe sobre el fenómeno en estudio, teoría relevante o conclusiones de análisis de datos anteriores; y
- los “enfoques secuenciales”, hacen referencia a que la mayoría de los proyectos estadísticos exitosos involucran una serie de pasos, tanto para la obtención como para el análisis de los datos, cada uno basado en lo aprendido en los pasos anteriores (Box *et al.*, 1978). Mediante procesos iterativos de inducción y deducción es posible postular modelos y decidir cómo se desarrollará la investigación.

La metodología estadística apropiada para lograr el conocimiento iterativo puede ayudar a responder no sólo a las cuestiones originalmente propuestas sino también a planear y responder a nuevas cuestiones. La sinergia entre estadísticos y especialistas en la materia permitirán una mejor comprensión del problema bajo estudio. Precisamente en ese momento es cuando la estadística se vuelve más potente como disciplina y permite vincular e integrar múltiples métodos para enfrentar problemas de variada complejidad.

En síntesis, la Ingeniería Estadística propone una metodología global basada en el método científico y el uso del pensamiento estadístico para abordar los problemas desestructurados y complejos de manera sistemática, con un enfoque estructurado pero flexible, integrando múltiples herramientas estadísticas y no estadísticas donde se da preponderancia a la multidisciplinariedad, el liderazgo de proyectos y el trabajo en equipo.

## 2.1 Fases de un proyecto de Ingeniería Estadística

Ingenieros, estadísticos y académicos proponen un modelo para guiar la aplicación de los principios fundamentales de Ingeniería Estadística a problemas reales, sustentado tanto en investigaciones previas como en la

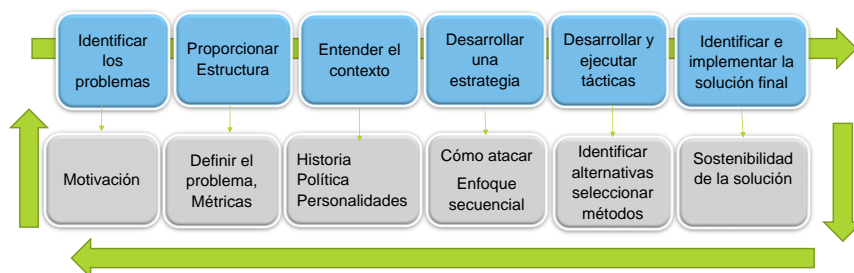
propia experiencia. En base a estos principios ISEA sugiere distintas fases que deben adaptarse según la estructura y el contexto del problema. Generalmente, este no es un proceso lineal y se requiere de ciclos interactivos a medida que se avanza y es habitual retornar a fases anteriores. La FIGURA 2 muestra las diferentes fases basada en un esquema inicial propuesto por DiBenedetto *et al.*, (2014) y adaptado por Hoerl & Snee (2017).

También existe un conjunto de competencias generales que habitualmente se precisan para lograr el éxito, no sólo a nivel estratégico y táctico, sino en todas las fases de las aplicaciones de la Ingeniería Estadística. Estas competencias incluyen la gestión de proyectos, el trabajo en equipo, la comunicación y otras competencias generales, que no serán desarrolladas en este trabajo.

A continuación se describen brevemente cada una de las fases.

FASE 1: Identificar el problema; encontrar el o los problemas de alto impacto que son críticos; determinar las disciplinas que pueden abordarlo, las capacidades y habilidades necesarias.

FASE 2: Proporcionar estructura; definir cuidadosamente una problemática particular; establecer los objetivos generales; las prioridades entre los objetivos; delimitar su alcance; establecer un cronograma general para abordar el problema y considerar cualquier limitación o restricción importante (legal, financiera, organizativa, entre otras). Para ello es necesario tener un pensamiento crítico, es decir, capacidad de análisis y evaluación objetiva del problema para formarse un juicio certero a partir de datos y teorías disponibles.



**FIGURA 2:** Fases de procesos típicos de Ingeniería Estadística. Fuente: Hoerl & Snee 2017.

FASE 3: Comprender el contexto; desarrollar una buena comprensión del contexto del problema con una apropiada definición, alcance y objetivos estadísticos. Identificar a las partes interesadas más importantes; investigar la historia del problema; reconocer posibles complicaciones como cuestiones culturales o políticas; localizar fuentes de datos relevantes, entre otros.

FASE 4: Desarrollar una estrategia; considerar que cuánto más complejo y desestructurado sea el problema, es más probable que se requiera una estrategia bien definida con varios pasos para abordarlo adecuadamente. La estrategia debe basarse en el problema y los objetivos específicos en cuestión acorde a las fases 2 y 3.

Algunas de las preguntas que pueden realizarse en esta fase serían las siguientes: ¿Qué secuencia de procesos centrales o básicos resolverían el problema en cuestión, dado el contexto? y ¿qué métodos, estadísticos y no estadísticos, serían más eficaces para cada proceso central o básico?

Los procesos centrales o básicos de Ingeniería Estadística son:

- adquisición de datos: obtener datos de la más alta calidad posible para el problema en cuestión;
- exploración de datos: comprender detalladamente los datos, observar patrones y tendencias, y desarrollar o perfeccionar hipótesis, basadas en métodos gráficos y numéricos;
- construcción de modelos: desarrollar diferentes tipos de modelos formales, acordes al problema que se está abordando;
- generalización de resultados: basado en los análisis realizados, inferir conclusiones más amplias que se pueden alcanzar sobre el fenómeno de interés más allá de un conjunto de datos en particular; e
- identificación e implementación de soluciones: determinar el mejor curso de acción a tomar a partir de lo aprendido de los procesos anteriores, asegurando sustentabilidad.

FASE 5: Desarrollar y ejecutar tácticas; implementar diversos métodos y disciplinas que conjuntamente permitan cumplir con la estrategia. En esta fase se deberán seleccionar y aplicar métodos estadísticos específicos, dentro de cada uno de los procesos centrales que dependerán de la naturaleza de los datos, el contexto particular y los objetivos planteados.

FASE 6: Identificar e implementar la solución final a partir del resultado del proceso investigativo, identificar acciones específicas que se podrían tomar para abordar el problema y lograr los objetivos generales identificados en la fase de estructura, asegurándose de que realmente la solución final funciona y que es factible mantenerla a lo largo del tiempo.

A continuación, se presenta un caso de aplicación relacionado con el problema de salud auditiva de adolescentes, detallando cada una de las fases de Ingeniería Estadísticas relacionada con las diferentes áreas involucradas, sobre la base del pensamiento estadístico.

### **3. CASO DE APLICACIÓN: PROBLEMA DE SALUD AUDITIVA**

Se comenzará definiendo las diferentes fases de la resolución de esta aplicación. Las fases serán descritas de forma lineal, pero como con todos los problemas complejos, la iteración se produce a lo largo del desarrollo del proyecto. Se describirán las fases de estructura del problema, las estrategias y tácticas empleadas y se mencionarán, sólo a modo de ejemplo, algunos de los resultados y las conclusiones más relevantes obtenidas que ya fueron publicadas en revistas científicas de diferentes disciplinas.

#### **3.1 Fase 1: Identificar el problema**

El proyecto de Ingeniería Estadística que se presenta, se desarrolló en base a la problemática social referida a la salud auditiva, específicamente, al deterioro temprano de la función auditiva en la etapa adolescente, previo al ingreso laboral.

Los jóvenes se exponen a menudo, a fuentes sonoras provenientes de diversas actividades de esparcimiento o deportivas relacionadas con la música. Estas actividades fuera del ámbito laboral, tales como asistencia a lugares bailables, uso de dispositivos personales, entre otros, se denominan “Ruido No ocupacional” (Biassoni *et al.*, 2008; Jofré *et al.*, 2009).

Tanto a nivel nacional como internacional, al momento del inicio de esta investigación no existía ninguna reglamentación para la exposición a altos niveles sonoros fuera del ámbito laboral a pesar de la alta carga de “inmisión sonora” a la que estaban expuestos en su mayoría adolescentes y jóvenes.

El Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), con su línea de investigación en Conservación de la Audición, constituye una institución con larga y destacada trayectoria en el estudio de la problemática planteada. Desde este centro, el Ing. Mario R. Serra y la Lic. Ester C. Biassoni conformaron y coordinaron un equipo multidisciplinario y multiinstitucional (TABLA 1) para abordar esta investigación y obtener los recursos financieros y humanos con habilidades específicas en las distintas áreas y disciplinas involucradas.

Instituciones	Aportes
(CINTRA) – Unidad Ejecutora de CONICET - (UTN) – Facultad Regional Córdoba (FRC)	Institución líder del Proyecto que coordinó a todas las instituciones, áreas y profesionales involucrados.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) (Instituto Físico-Técnico Estatal) – Braunschweig – Alemania	Apoyo financiero para la adquisición de instrumental de última generación y el establecimiento de un laboratorio de calibración en el CINTRA acorde a patrones internacionales. Asesoramiento permanente en aspectos físico, acústico y audiológico. Estadías anuales para la actualización en los avances científicos.
Instituciones Científicas de Argentina (CONICOR – CONICET – Ministerio de Ciencia y Técnica – (UTN)	Instituciones, provinciales y nacionales que brindaron su apoyo económico para el desarrollo del Proyecto, a través de subsidios obtenidos a lo largo del tiempo.
Instituto Otorrinolaringológico y Fonoaudiológico Córdoba (INOFAC)	Participación colaborativa de profesionales en el desarrollo del aspecto audiológico.
Centro Otorrinolaringológico de Alta Tecnología (COAT)	
Facultad de Psicología – Universidad Nacional de Córdoba (UNC)	Convenios para la formación de recursos humanos mediante la participación de tesis de grado y posgrado en el aspecto psicosocial o audiológico.
Escuela de Fonoaudiología – Facultad de Ciencias Médicas – (UNC)	

Instituto de Estadística y Demografía – Facultad de Ciencias Económicas – (UNC)	Participación en la implementación y ejecución de la estructura estadística para establecer las relaciones e interrelaciones entre las distintas áreas y aspectos, abordados en el Proyecto.
Centro Piloto de Detección de Errores Metabólicos (CEPIDEM) – Facultad de Cs. Médicas – (UNC)	Participación en el abordaje del aspecto genético en relación con las hipoacusias a edades tempranas.
Ministerio de Salud de la Provincia de Córdoba	Donación de un vehículo utilitario para su conversión en cabina audiométrica móvil.
Departamento Mecánica (UTN) – (FRC)	Conversión del vehículo utilitario en cabina audiométrica móvil con el asesoramiento acústico del CINTRA.
Municipalidad de la Ciudad de Córdoba	Marco oficial para la implementación de la estrategia educativa de intervención destinada a la concientización sobre los efectos nocivos del ruido sobre la audición.
Instituciones educativas públicas y privadas de la Ciudad de Córdoba y del interior	Participación voluntaria para realizar el trabajo de campo con los adolescentes durante las distintas etapas del Proyecto y la concreción de la estrategia educativa de intervención para la concientización.

**TABLA 1:** Instituciones intervinientes en el Proyecto sobre Conservación de la Audición y aportes recibidos.

### 3.2 Fase 2: Proporcionar estructura

La iniciativa del trabajo cooperativo y colaborativo del equipo multidisciplinario propuesto por el Ing. Serra y la Lic. Biassoni, fue una propuesta innovadora, en su momento, para abordar el tema de la audición en adolescentes. Estos investigadores propusieron la implementación de un “Programa de Conservación y Promoción de la Audición”, dirigido a adolescentes provenientes de las Escuelas Técnicas (IPEM) de la Ciudad de Córdoba (2006-2015). Esto implicó la realización de tareas de investigación y transferencia, en forma paralela, en la búsqueda de una respuesta científica al problema y de acciones pertinentes que contribuyeran a su prevención (Serra *et al.*, 2007a). La investigación llevada a cabo en el CINTRA, única a nivel nacional y calificada por los especialistas como un estudio pionero en el área de la audición, se constituyó en referente a nivel internacional.

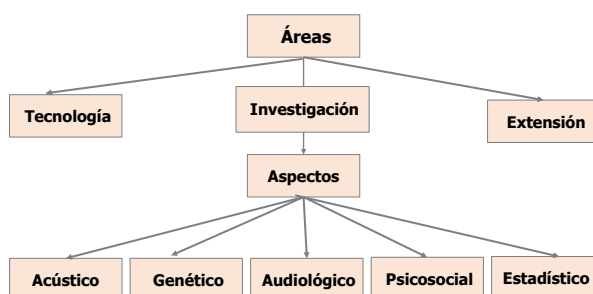
El objetivo general del Programa consistió en el estudio conjunto de los diversos factores que pueden contribuir al desarrollo de la hipoacusia, mediante la aplicación de nuevas técnicas de medición, para ese momento, y evaluación en los distintos aspectos involucrados; con desarrollo paralelo de una campaña de concientización sobre la importancia de la salud auditiva en la calidad de vida y desempeño laboral futuro de los adolescentes.

Precisamente la complejidad del problema, la necesidad de integrar diferentes métodos y disciplinas, coordinar las diversas instituciones involucradas y la ausencia de una estructura previa para resolverlo, requirió abordar su resolución como un típico proyecto de Ingeniería Estadística.

Con una visión holística se propuso estructurar el estudio en tres áreas.



- Tecnología: con desarrollos *ad hoc* para cumplimentar con los requerimientos de normas nacionales e internacionales en relación a los ambientes de prueba y a las técnicas y procedimientos de medición;
- Extensión: destinada a informar y concienciar sobre los efectos nocivos del ruido para la audición mediante la aplicación de una estrategia educativa de intervención; e
- Investigación: con la inclusión de los aspectos audiológico, psicosocial, acústico, genético y estadístico, estableciendo interrelaciones entre las variables estudiadas en cada uno de ellos (FIGURA 3).



**FIGURA 3:** Esquema de Áreas y aspectos involucrados en el Programa de Conservación y Promoción de la Audición.

Dentro del proceso investigativo, el aspecto estadístico cobró especial importancia a la hora de la búsqueda de una respuesta científica. Ello implicó la generación y/o adaptación de metodologías estadísticas que permitieran un adecuado análisis de la información relevada en los distintos aspectos considerados y sus interrelaciones, a los fines de contribuir en la búsqueda de la etiología del problema y a la toma de decisiones adecuadas dirigidas a su prevención.

Para cada uno de los aspectos involucrados se conformaron equipos de trabajo liderados por especialistas en cada área (ingenieros, psicólogos, fonoaudiólogos, estadísticos, médicos, entre otros). El equipo de investigación a cargo del aspecto estadístico fue dirigido por la Dra. Silvia Joeques desde el comienzo de la línea en Conservación de la Audición, promoviendo el pensamiento estadístico en las diferentes etapas y aspectos del proyecto.

### 3.3 Fase 3: Comprender el contexto

El Programa de Conservación y Promoción de la Audición tuvo como antecedente un trabajo subsidiado por el Gobierno de Alemania (1996-2003), en el cual se desarrolló un “Modelo de Medición a largo plazo para ser aplicado en situaciones de ruido”. Este trabajo fue utilizado como base para el desarrollo de un “Estudio Longitudinal sobre los Efectos Auditivos a la Exposición a Ruido No- ocupacional”(1998-2001) (Biassoni *et al.*, 2005; Serra *et al.*, 2007b; Serra *et al.*, 2005). Este estudio se llevó a cabo, durante cuatro años, con dos grupos de adolescentes, siguiendo un enfoque interdisciplinario. La investigación fue

planteada como un experimento de campo con máximo control de variables, aplicando nuevas metodologías de trabajo y técnicas de medición acorde a lo aconsejado por las normas nacionales (IRAM) e internacionales (ISO) a los fines de constituirse en un modelo referencial.

En base a esta experiencia previa y debido a la complejidad de la investigación y la cantidad de actores involucrados se pensó en la posibilidad de buscar un modelo que interrelacione los distintos aspectos científicos relacionados con la hipoacusia a efectos de darle un marco de integración empleando la ingeniería estadística.

Esto supuso la necesidad de buscar los factores que originaban la mayor sensibilidad o susceptibilidad y que predisponían a algunos oídos a ser dañados más tempranamente que otros. Tal es el caso de los adolescentes estudiados en la primera etapa de este trabajo, que a los 17/18 años ya presentaban trastornos auditivos irreversibles sin causas clínicas que los justificaran.

### **3.4 Fase 4: Desarrollar una estrategia**

Se llevó a cabo una estrategia de abordaje integral, que tuviera en cuenta todos los aspectos involucrados en la problemática, así como la coordinación con otros departamentos o instituciones mediante el Programa de Conservación y Promoción de la Audición mencionado. La utilización de metodologías estadísticas conjuntamente con otras disciplinas, permitió dar una respuesta científica al estudio de las hipoacusias inducidas por ruido.

Como se mencionó en la Fase 1, el área de investigación abarcó los aspectos acústico, genético, audiológico, psicosocial y estadístico.

El plan de acción se abordó en diferentes fases acordes a los objetivos del Programa.

Para la adquisición de datos se utilizaron diferentes instrumentos como se hace referencia a continuación:

#### 3.4.1 Instrumentos del estudio procesados estadísticamente

Estudio Audiológico:

- a) audiometría en los rangos convencional (250-8000) Hz y extendido de alta frecuencia (8000-16000) Hz y b) otoemisiones acústicas (OEA) y c) Timpanometría.

Estudio Psicosocial: (Biassoni *et al.*, 2011)

- a) Cuestionario de Actividades Extraescolares: para conocer en detalle las distintas actividades realizadas por los adolescentes fuera del horario escolar como exposición a ruido ocupacional y no ocupacional; otras formas de diversión; efectos auditivos posteriores a la exposición a ruido y ambiente sonoro del lugar de residencia.
- b) Escala de Actitudes hacia la Música a Altos Niveles Sonoros: para determinar actitudes Desfavorables, Neutras o Favorables.

- c) Escalas del Diferencial Semántico: para conocer la opinión de los adolescentes sobre distintas formas de diversión como escuchar música fuerte; usar reproductores personales de música; asistir a locales bailables entre otros.
- d) Prueba de Personalidad (16 PF): para conocer los rasgos primarios de personalidad que caracterizan a los adolescentes.

#### 3.4.2 Estudios no procesados estadísticamente

##### Aspecto Acústico:

Se llevaron a cabo mediciones de niveles de inmisión sonora en las principales actividades recreativas de los adolescentes participantes, tanto en lugares bailables, como en espectáculos en vivo u otros mediante técnica de medición implementada *ad hoc*, dosimetría personal de ruido para medir dosis de exposición sonora y aplicación de intensimetría sonora en lugares de esparcimiento.

##### Aspecto Genético:

Se estudió la predisposición de los oídos lábiles a ser afectados más tempranamente por la exposición a altos niveles sonoros. Para aquellos adolescentes detectados con problemas auditivos dentro del Programa se dispuso su atención en el COAT para confirmación del diagnóstico y determinar si correspondía su derivación al CEPIDEM para el correspondiente estudio genético.

#### 3.4.3 Aspecto Estadístico

Dada la cantidad de datos que se generaron a partir de los diferentes instrumentos se determinaron los objetivos y la metodología a seguir.

El objetivo general consistió en efectuar un estudio que permita modelar la relación entre los trastornos auditivos y un conjunto de variables psicosociales y acústicas, a efectos de detectar factores que pueden contribuir al desarrollo temprano de la hipoacusia.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Analizar el estado auditivo de los adolescentes.
- Estudiar el efecto sobre la función auditiva de: a) las actividades extraescolares; b) la actitud hacia la música con altos niveles sonoros; c) la evaluación de diferentes situaciones relacionadas con música; d) los rasgos de personalidad en relación con las conductas de esparcimiento y la interrelación entre estas variables.
- Analizar la evolución de la función auditiva al cabo de los tres años y las interrelaciones entre las variables moderadoras a efectos de inferir la existencia de posibles factores de riesgo.

#### 3.4.4 Metodología Estadística

Para abordar el problema de la exposición de adolescentes a ruidos no ocupacionales o recreativos, y al daño potencial que tales exposiciones pueden

ocasionarles, en especial en el aparato auditivo, se llevó a cabo una Investigación epidemiológica. La población estuvo compuesta por escuelas Técnicas (IPEM) de la ciudad de Córdoba, cada una de estas constituyendo un conglomerado. De esta población se seleccionó una muestra de 4 conglomerados (escuelas).

La selección de escuelas se realizó tomando, de manera aleatoria, un conglomerado por año y evaluando la totalidad de los alumnos que asistían al tercer año en cuatro escuelas incorporando una por año. En el primer año se trabajó sobre un conjunto de 172 alumnos de la primera escuela seleccionada, y en los años restantes con 29,34 y 26 alumnos respectivamente.

Los adolescentes fueron evaluados en dos etapas: a) al cursar el Tercer Año del Ciclo Básico Unificado (CBU), con edades de 14/15 años (2006 -2009); y b) los mismos alumnos fueron re-testados tres años después, (2009-2012), al momento de cursar el Sexto Año del Ciclo de Especialización correspondiente a la finalización de la etapa de formación media.

La información obtenida a partir de los instrumentos del Programa se planificó para ser procesada estadísticamente aplicando técnicas descriptivas e inferenciales. El estudio descriptivo, se empleó para estudiar el problema epidemiológico en tiempo, lugar y persona, cuantificando la frecuencia y distribución de las variables seleccionadas. El estudio inferencial o estudio etiológico, posibilitó establecer relaciones de asociación entre las variables consideradas en los diferentes instrumentos a efectos de identificar posibles factores de riesgo.

La complejidad del análisis de datos que caracterizó a esta investigación, hizo necesario considerar la aplicación de la metodología estadística en cuatro grandes etapas: 1) estudio de las respuestas a cada una de las pruebas aplicadas; 2) análisis de las interrelaciones entre las respuestas a las distintas pruebas auditivas y psicosociales; 3) estudio longitudinal de evaluación de los re-testeos; 4) análisis comparativo transversal y longitudinal entre escuelas (FIGURA 4). El detalle del procedimiento ejecutado en cada etapa se describe de manera general en la Fase 5.

### **3.5 Fase 5: Desarrollar y ejecutar tácticas**

En esta fase se identificaron los diversos procedimientos empleados en cada disciplina que cumplirían con la estrategia planeada para analizar el comportamiento y evolución de las variables a través del tiempo y las relaciones entre ellas. Con esa finalidad se llevaron a cabo reuniones periódicas con el equipo multidisciplinario (psicólogos, fonoaudiólogos, ingenieros, estadísticos, entre otros) y las áreas involucradas lideradas por los directores de proyectos de las diferentes disciplinas. Se comunicaron avances, principales conclusiones, posibles inconsistencias y selección de cursos de acción futuros, tales como agrupaciones de variables o determinación de nuevas categorías, capacitaciones específicas a integrantes de los diferentes equipos, generación de nuevas investigaciones en diferentes disciplinas, entre otros aspectos. El

análisis estadístico llevado a cabo en distintas etapas se detalla en rasgos generales en el apartado a continuación.

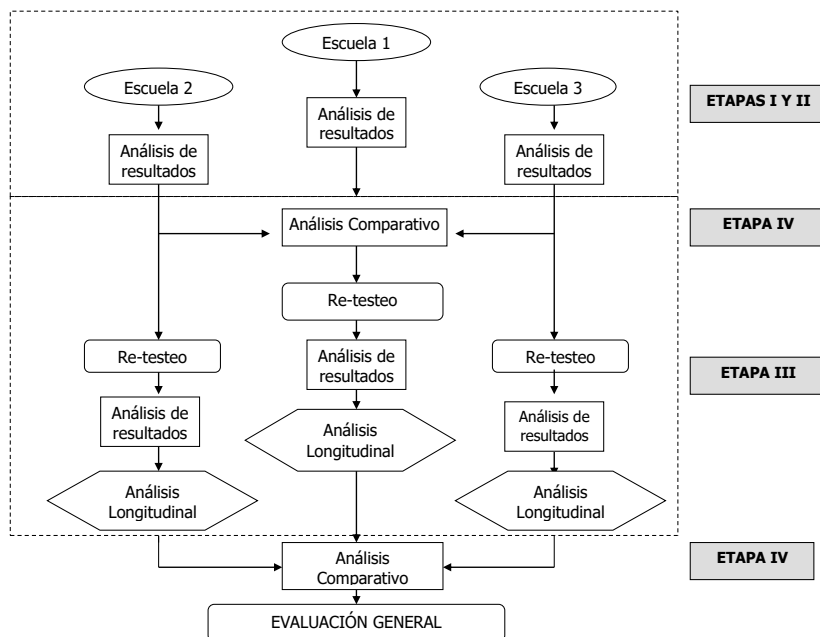


FIGURA 4: Organigrama de actividades en etapas.

### 3.5.1 Etapa I: Estudio de las Respuestas a cada una de las Pruebas Aplicadas

**Aspecto Audiológico:** A partir de los resultados obtenidos en las pruebas audiológicas se construyeron las bases de datos para su análisis. En primer lugar se procedió a su depuración a los fines de detectar las posibles inconsistencias de resultados, valores faltantes, observaciones incorrectamente cargadas, valores atípicos, etc.

Una vez que la base de datos estuvo depurada, se procedió a su organización y resumen mediante la obtención de medidas descriptivas. Se establecieron relaciones entre las variables de agrupamiento como género, oído, nivel de exposición a diferentes fuentes sonoras, entre otros, y se realizaron estudios comparativos de sus efectos sobre los niveles de audición mediante comparaciones apareadas e independientes bajo el supuesto de normalidad, o pruebas no paramétricas cuando no se verifica este supuesto.

**Aspecto Psicosocial:** A partir de los cuestionario sobre Actividades Extraescolares, Escala de Actitudes hacia la Música, Escalas del Diferencial Semántico y Prueba de Personalidad, se obtuvo información de la conducta de los adolescentes respecto a las actividades diarias de esparcimiento y su exposición a fuentes sonoras musicales y no musicales; actitud hacia la música

y ruido en general y opinión sobre actividades recreativas relacionadas con la música y el nivel sonoro de las mismas. Todas estas pruebas fueron evaluadas mediante puntuaciones que se asignaron a cada adolescente de acuerdo a su nivel de exposición y actitud al ruido. Con estas puntuaciones como indicadores de riesgo, se construyeron las bases de datos correspondientes. Se efectuó una depuración de los datos para corregir inconsistencias o valores mal ingresados. Posteriormente se realizó un análisis descriptivo y se estudió la forma de la distribución estadística asociada a los indicadores de riesgo.

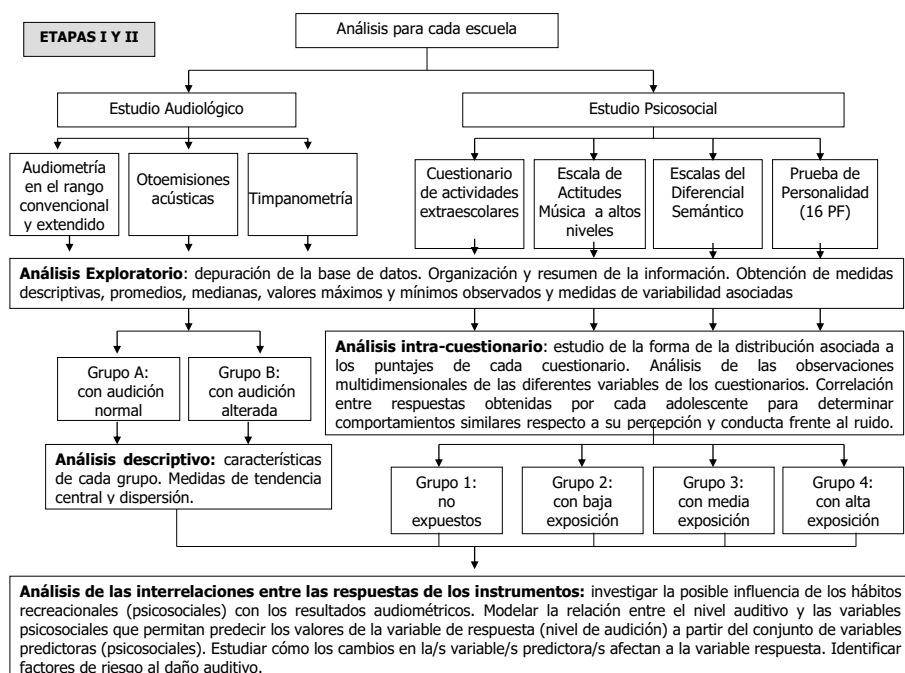


FIGURA 5: Descripción de las Etapas I y II del Análisis Estadístico.

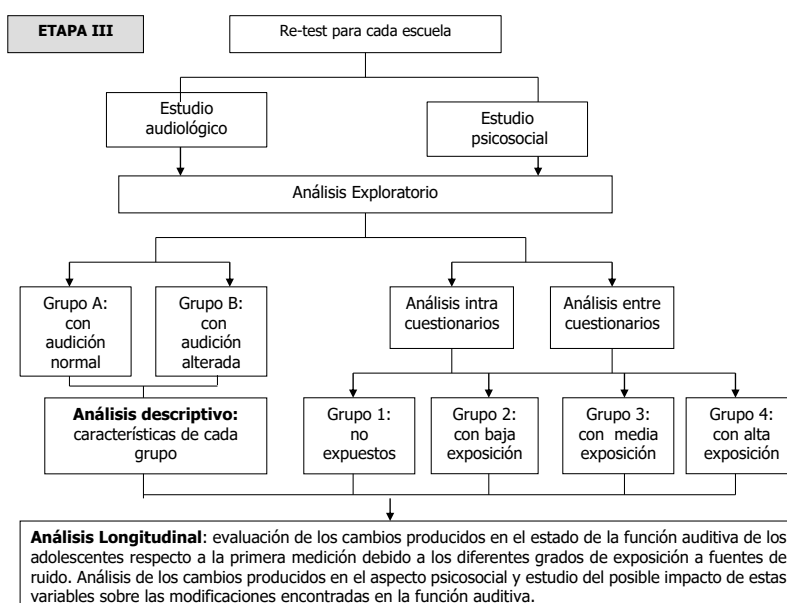
### 3.5.2 Etapa II: Análisis de las Interrelaciones entre las Respuestas a las distintas Pruebas auditivas y psicosociales

El estudio audiológico permitió agrupar a los adolescentes de acuerdo a sus niveles de audición, determinados por expertos (FIGURA 5). En esta etapa fue de gran importancia establecer si el estado de la función auditiva podía estar relacionado con sus hábitos recreativos. Para ello se emplearon procedimientos estadísticos que permitieron evaluar esa relación a fin de identificar factores de riesgo para la salud auditiva y su utilización en pos de la prevención. Para modelar la relación entre el estado de la función auditiva y las variables psicosociales se emplearon modelos de regresión múltiple a efectos de predecir los valores de la variable de respuesta (nivel de audición) a partir del conjunto de variables predictoras (psicosociales) seleccionado. De esta manera fue posible estudiar los cambios en la/s variable/s predictor/a/s que

afectaban a la variable respuesta, y encontrar un modelo para la relación funcional entre ambas.

### 3.5.3 Etapa III: Estudio longitudinal de evaluación de los re-testeos

Al cabo de los tres años de la primera evaluación (2006-2009), se analizaron los cambios producidos en el estado de la función auditiva de los adolescentes (FIGURA 6). Como era esperable, se produjeron modificaciones en el agrupamiento inicial de los adolescentes debido a los diferentes grados de exposición a fuentes de ruido. Al mismo tiempo se evaluaron los cambios producidos en el aspecto psicosocial, estudiándose el posible impacto de estas variables sobre las modificaciones encontradas en la función auditiva. Se aplicó un modelo de regresión logística a efectos de modelar la relación entre la variable de respuesta de naturaleza dicotómica (adolescentes con o sin desplazamiento auditivo al cabo de los tres años) y una o más variables independientes o regresoras obtenidas a partir de los resultados de los instrumentos relacionados a sus conductas psicosociales.



**FIGURA 6:** Descripción de la Etapa III del análisis estadístico.

### 3.5.4 Etapa IV: Análisis comparativo inter-escuelas

Todos los estudios mencionados en las etapas I a III se realizaron para cada escuela que participó en el estudio. Una vez concluidos los mismos, fue necesario efectuar un análisis comparativo ya que era de esperar que los sujetos tuvieran características que los diferenciaban de acuerdo a la escuela a la que concurrían (FIGURA 7). En general, las escuelas constituyen grupos o *cluster* de individuos, y por varias razones, principalmente socioeconómicas,

presentarían características de similitud intra-escuela y de diferencias entre escuelas. Esta estructura de variabilidad, común en experiencias de este tipo, debió ser considerada por el análisis estadístico. La utilización de un modelo lineal general de regresión y/o análisis de varianza permitió establecer la relación entre un conjunto de variables dependientes múltiples con una o más variables como factor de agrupamiento (escuelas). Este estudio permitió determinar factores de riesgos al daño auditivo entre escuelas.

Después del re-testeo, fue necesaria una nueva comparación de resultados entre escuelas. En este caso fue importante determinar si los cambios observados en una escuela se mantenían para todas o si por el contrario, había diferencias en los desplazamientos de la función auditiva asociados a ciertas características de cada escuela. Mediante la utilización de los modelos longitudinales o modelos de mediciones repetidas se pudieron evaluar los cambios observados en el estado de la función auditiva y/o de las conductas recreacionales de los adolescentes a lo largo del tiempo y entre escuelas.

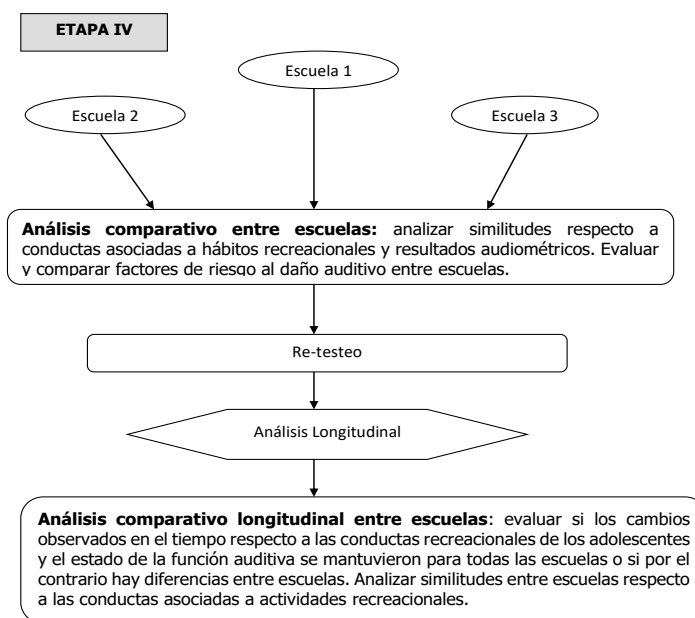


FIGURA 7: Descripción de la Etapa IV del análisis estadístico.

### 3.6 Fase 6: Identificar e implementar la solución final

En esta fase, las acciones implementadas estuvieron orientadas hacia la detección temprana del deterioro auditivo en los adolescentes antes que el daño fuese irreversible. Además, se concientizó a los jóvenes expuestos de manera continuada a altos niveles sonoros, acerca de las posibles consecuencias en su salud auditiva y su futuro laboral. Para ello, se utilizaron estrategias de intervención educativas y otras actividades de extensión.



Algunos de los resultados más relevantes obtenidos del estudio multidisciplinario fueron publicados en revistas científicas especializadas. Se destacan los siguientes:

- a) En el aspecto audiológico: al finalizar el período de seguimiento en todas las escuelas, los análisis mostraron un deterioro general de la función auditiva en los adolescentes estudiados (14/15 a 17/18 años) con descensos en los umbrales auditivos y con un perfil audiométrico al cabo de los tres años que no mostró estabilidad o mejoramiento de la audición (Abraham *et al.*, 2013; Biassoni *et al.*, 2011, 2014).
- b) En el aspecto psicosocial: aumento progresivo con la edad en la participación de actividades recreativas caracterizadas por altos niveles sonoros que constituyó un comportamiento de riesgo para la salud auditiva, teniendo en cuenta no sólo la frecuencia sino también la duración de la exposición. Además, se determinó que existía una relación entre oídos sensibles y aparición temprana de trastornos auditivos (Hinalaf *et al.*, 2011a; Hinalaf *et al.*, 2011b; Serra *et al.*, 2014).

En relación a las estrategias de intervención educativas se implementó, en las escuelas en las que se llevó a cabo el trabajo de campo, un Programa de Educación para la Salud Auditiva mediante capacitación entre pares que facilitó una buena receptividad entre los adolescentes al compartir lenguaje y códigos comunes debido a la cercanía cultural que mantienen entre sí (Cardozo *et al.*, 2005). El grupo de capacitadores adolescentes informaron a sus pares sobre los riesgos de una exposición prolongada de música a altos niveles sonoros, las posibles consecuencias en las pruebas de admisión laboral y el cuidado de la audición. Paralelamente, se llevaron a cabo otras actividades de extensión, entre las que se destaca la formación de recursos humanos en las distintas disciplinas de las áreas incluidas en el Programa.

A nivel científico, se presentaron trabajos en congresos, conferencias y publicaciones en revistas científicas, tanto a nivel nacional como internacional, algunas de las cuales se han referenciado en el texto. Actualmente se continúa con diferentes líneas de investigación a partir de los resultados obtenidos.

A nivel comunitario, se procedió a la difusión en programas radiales, televisivos, periódicos, y charlas a la comunidad. Además, se elaboró un Manual de Salud Auditiva (Serra *et al.*, 2015) con la finalidad de transmitir los conocimientos necesarios sobre el ruido y sus consecuencias adversas, brindar orientaciones sobre prácticas y construcción de ambientes sonoros más saludables.

#### **4. CONCLUSIONES**

En el presente artículo se detalla cada una de las fases que se utilizaron para abordar un problema complejo y desestructurado referido a la salud auditiva de adolescentes, mediante el esquema sugerido por ISEA (Hoerl & Snee, 2017), con un enfoque sistemático, multidisciplinario, basado en el método científico y en el desarrollo del pensamiento estadístico.

La investigación iterativa de esta temática implicó un aprendizaje multi-dimensional del problema. Esto hizo necesario descubrir cómo diseñar la investigación, cómo llevarla a cabo y cómo alcanzar un resultado, es decir, cómo efectuar una correcta interacción entre teoría y práctica.

El alto porcentaje de jóvenes no admitidos en pruebas de ingreso laboral, debido a su salud auditiva, motivó la creación de un Programa de Conservación y Promoción de la Audición con abordaje multidisciplinario y multiinstitucional. Se conformaron diferentes equipos con experiencia, habilidades y conocimientos específicos en cada una de las áreas intervinientes.

Mediante diseños longitudinales la investigación permitió conocer el comportamiento y evolución de la función auditiva a lo largo del tiempo. Para ello fue necesario la utilización de técnicas y procedimientos de medición que respondieran a las normas nacionales e internacionales vigentes en lo relativo a la temática en estudio, a fin de asegurar la confiabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos.

En este caso de aplicación de Ingeniería Estadística a la salud auditiva, la clave para el éxito de su desarrollo se debió al fuerte liderazgo y compromiso ejercido por cada uno de los directores de los diferentes grupos, la capacidad para gestionar los proyectos en cada disciplina, el trabajo cooperativo y colaborativo del equipo multidisciplinario y la comunicación permanente no sólo entre los equipos sino la comunicación de los resultados a los diferentes niveles.

Por todo ello, sería útil la realización de este tipo de estudios en diferentes regiones de Argentina para poder conocer mejor el estado de salud auditiva de los adolescentes en el país y contribuir a la implementación de programas de conservación de la audición.

## 5. REFERENCIAS

- Abraham, M., Hinalaf, M. A., Biassoni, E. C., Serra, M. R., Pavlik, M. L., Joekes, S., Yacci, M. R. & Righetti, A. F. (2013). Hábitos recreativos en la adolescencia y sus riesgos para la salud auditiva. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento (RACC)*, 31-151.
- American Society for Quality Statistics Division. (1996). Glossary and tables for statistical quality control. Quality Press
- Anderson-Cook, C. M., Lu, L., Clark, G., DeHart, S. P., Hoerl, R., Jones, B., MacKay, R. J., Montgomery, D., Parker, P. A., Simpson, J., Snee, R., Steiner, S. H., Van Mullekom, J., Vining, G. G. & Wilson, A. G. (2012a). Statistical Engineering—Forming the Foundations. *Quality Engineering*, 24(2), 110-132. <https://doi.org/10.1080/08982112.2012.641150>
- Anderson-Cook, C. M., Lu, L., Clark, G., DeHart, S. P., Hoerl, R., Jones, B., MacKay, R. J., Montgomery, D., Parker, P. A., Simpson, J., Snee, R., Steiner, S. H., Van Mullekom, J., Vining, G. G. & Wilson, A. G. (2012b). Statistical Engineering—Roles for Statisticians and the Path Forward.

- Quality Engineering*, 24(2), 133-152.  
<https://doi.org/10.1080/08982112.2012.641151>
- Bakker, A. & Derry, J. (2011). Lessons from Inferentialism for Statistics Education. *Mathematical Thinking and Learning*, 13(1-2), 5-26.  
<https://doi.org/10.1080/10986065.2011.538293>
- Biassoni, E. C., Serra, M. R., Hinalaf, M., Abraham, M. G., Pavlik, M., Pérez Villalobo, J., Curet, C., Joekes, S., Yacci, M. R. & Righetti, A. F. (2014). Hearing and loud music exposure in a group of adolescents at the ages of 14-15 and retested at 17-18. *Noise and Health*, 16(72), 331.  
<https://doi.org/10.4103/1463-1741.140515>
- Biassoni, E. C., Serra, M. R., Pavlik, M., Hinalaf, M., Curet, C., Pérez Villalobos, J., Abraham, M., Gauchat, S., Joekes, S. & Righetti, A. (2011). Programa de Conservación y Promoción de la Audición en la Etapa Adolescente: Primeros resultados. En M. C. Richaud & v. Lemos (Eds.), *Psicología y otras Ciencias del comportamiento. Compendio de investigaciones actuales.: Vol. II* (pp. 57-503). Universidad Adventista del Plata.
- Biassoni, E. C., Serra, M. R., Pérez Villalobo, J., Joekes, S. & Yacci, M. R. (2008). Hábitos recreativos en la adolescencia y salud auditiva. *Interamerican Journal of Psychology*, 42(2), 257-271.
- Biassoni, E. C., Serra, M. R., Richter, U., Joekes, S., Yacci, M. R., Carignani, J. A., Abraham, S., Minoldo, G. & Franco, G. (2005). Recreational noise exposure and its effects on the hearing of adolescents. Part II: Development of hearing disorders Exposición a ruido recreativo y sus efectos en la audición de los adolescentes. Parte II: desarrollo de trastornos auditivos. *International Journal of Audiology*, 44(2), 74-85.  
<https://doi.org/10.1080/14992020500031728>
- Box, G. E. P., Hunter, W.G. & Hunter, J.S. (1978). *Statistics for Experimenters*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Cardozo, G., Dubini, P., Duarte, M. E., Solís, M., Vadaugna, E., Crabay, M., Crespi, G., Verhaegh, A. & Barron, M. (2005). *Adolescencia: Promoción de Salud y Resiliencia*. Brujas.
- DiBenedetto, A., Hoerl, R. W. & Snee, R. (2014). Solving Jigsaw Puzzles: Addressing Large, Complex, Unstructured Problems. *Quality Progress*, 47(6), 50-53.
- Hinalaf, M., Biassoni, E. C., Serra, M. R., Pavlik, M. P., Curet, C. A., Abraham, M. G., Perez Villalobo, J., Joekes, S., Righetti, A. F. & Yacci, M. R. (2011a). La vía eferente medial como mecanismo protector de la audición. *Revista Mecánica Computacional*, 30, 3157-3166.
- Hinalaf, M., Pavlik, M. L., Biassoni, E. C., Serra, M. R., Abraham, M., Curet, C. A., Joekes, S., Yacci, M. R. & Righetti, A. F. (2011b). Estudio sobre la supresión contralateral de las otoemisiones acústicas transitorias, umbrales auditivos y hábitos recreativos en adolescentes. *Areté*, 11, 55-69.
- Hoerl, R. W. & Snee, R. D. (2010a). Closing the gap: Statistical engineering links statistical thinking, methods, tools. *Quality Progress*, 43(5), 52-53.

- Hoerl, R. W. & Snee, R. D. (2010b). Moving the Statistics Profession Forward to the Next Level. *The American Statistician*, 64(1), 10-14. <https://doi.org/10.1198/tast.2010.09240>
- Hoerl, R. W. & Snee, R. D. (2017). Statistical Engineering: An Idea Whose Time Has Come? *The American Statistician*, 71(3), 209-219. <https://doi.org/10.1080/00031305.2016.1247015>
- Jofré, P. D., De la Paz P. F., Platzer M. L., Anabalón B. J. L., Grasset E. E. & Barnafi R, N. (2009). Evaluación de la exposición a ruido social en jóvenes chilenos. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 69(1), 23-28. <https://doi.org/10.4067/S0718-48162009000100005>
- Serra, M.R., Hinalaf, M., Cortellini, M., Biassoni, E. C., Abraham, M., Gilbert, G. & Hidalgo, K. (2015). *Manual de buenas prácticas para la salud auditiva*. Tinta Libre.
- Serra, M. R., Biassoni, E. C., Hinalaf, M., Abraham, M., Pavlik, M., Villalobo, J. P., Curet, C., Joekes, S., Yacci, M. R. & Righetti, A. (2014). Hearing and loud music exposure in 14-15 years old adolescents. *Noise and Health*, 16(72), 320. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.140512>
- Serra, M. R., Biassoni, E. C., Hinalaf, M., Pavlik, M., Pérez Villalobo, J., Curet, C., Minoldo, G., Abraham, S., Moreno, B. J., Reynoso, R., Barteik, M. E., Joekes, S. & Yacci, M. R. (2007a). Program for the Conservation and Promotion of Hearing Among Adolescents. *American Journal of Audiology*, 16(2), S158-S164. [https://doi.org/10.1044/1059-0889\(2007\)020](https://doi.org/10.1044/1059-0889(2007)020)
- Serra, M. R., Biassoni, E. C., Ortiz Skarp, A. H., Serra, M. & Joekes, S. (2007b). Sound immission during leisure activities and auditory behaviour. *Applied Acoustics*, 68(4), 403-420. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2006.03.002>
- Serra, M. R., Biassoni, E. C., Richter, U., Minoldo, G., Franco, G., Abraham, S., Carignani, J. A., Joekes, S. & Yacci, M. R. (2005). Recreational noise exposure and its effects on the hearing of adolescents. Part I: An interdisciplinary long-term study Exposición a ruido recreativo y sus efectos en la audición de los adolescentes. Parte I: un estudio interdisciplinario a largo plazo. *International Journal of Audiology*, 44(2), 65-73. <https://doi.org/10.1080/14992020400030010>
- Snee, R. D. & Hoerl, R. W. (2012). Leadership—Essential for Developing the Discipline of Statistical Engineering. *Quality Engineering*, 24(2), 162-170. <https://doi.org/10.1080/08982112.2012.654323>
- Wild, C. J. & Pfannkuch, M. (1999). Statistical Thinking in Empirical Enquiry. *International Statistical Review*, 67(3), 223-248. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.1999.tb00442.x>