

# SIBDaCAR: Un Prototipo de Sistema de Cronotanodiagnóstico para la República Argentina

Paola Azar<sup>1,3</sup>, Darío Ruano<sup>1,3</sup>, Andrea Maldonado<sup>1,3</sup>, Norma Herrera<sup>1,3</sup>,  
Daniel Jaume<sup>2,3</sup>, Marcelo Martínez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Informática, FCFMyN, Univ. Nacional de San Luis

<sup>2</sup> Departamento de Matemáticas, FCFMyN, Univ. Nacional de San Luis

<sup>3</sup> Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Bases de Datos, Univ. Nacional de San Luis

<sup>4</sup> Jefe Interino del Cuerpo Médico Forense y Criminalístico de la Tercera Circunscripción Judicial de la Provincia de Mendoza

epazar18@unsl.edu.ar, dmruano@unsl.edu.ar, andreamaldonadoma@gmail.com, nherrera@unsl.edu.ar,  
djaume@unsl.edu.ar, drmarcelomartinez@hotmail.com

**Abstract.** El cronotanodiagnóstico es el conjunto de observaciones y técnicas que permiten señalar el intervalo de tiempo donde con mayor probabilidad se ha producido el proceso de muerte. La estimación de este intervalo, conocido como IPM (intervalo post mortem), es quizás una de las tareas más complicadas en medicina legal. El apoyo de herramientas informáticas con las que cuenta un médico forense de nuestro país para datar la muerte es escaso o nulo en algunos casos. En este artículo presentamos el desarrollo de un prototipo de un sistema integral de bases de datos (SIBDaCAR) que permita establecer el IPM y que pueda ser usado en el ámbito de nuestro país.

**Palabras claves:** Bases de Datos, Cronotanodiagnóstico, IPM

## 1 Introducción

En la era actual, caracterizada por la evolución de las tecnologías de la información y las comunicaciones, las ciencias de la computación son transversales a la mayoría de nuestras actividades diarias, brindando las herramientas necesarias para abordar problemas complejos y contribuyendo en la búsqueda de soluciones eficientes a problemas de interés. La medicina legal y forense no escapa a esta realidad. Un tema de particular interés en este ámbito es la determinación de la data de muerte. Determinar la data de muerte es quizás uno de los problemas más complejos en medicina forense

El cronotanodiagnóstico (o datación de la muerte) es el conjunto de observaciones y técnicas que permiten señalar el intervalo de tiempo donde con mayor probabilidad se ha producido el proceso de muerte [1]. Este intervalo, conocido como IPM (intervalo post mortem), indica un período de tiempo circunscrito por el momento de muerte y el hallazgo del cadáver. Conseguir averiguar este intervalo de forma precisa es de suma importancia tanto en el ámbito penal como civil. La data de muerte puede, por ejemplo, permitir aceptar o rechazar coartadas durante la investigación de un crimen, y también puede tener consecuencias económicas relacionadas por ejemplo a herencias. La estimación del IPM es una de las tareas más complicadas en medicina legal, no existiendo

un método que sea completamente exacto para ello. Cuanto más prolongado es el IPM menos precisa es la estimación.

El apoyo de herramientas informáticas con las que cuenta un médico forense de nuestro país para datar la muerte es escaso o nulo en algunos casos. El software existente está basado en otras realidades: piden datos que en nuestro país no son viables y/o utilizan en sus cálculos fórmulas basadas en condiciones climáticas poco probables de ocurrir en nuestro país. Para complejizar aun mas la situación, no existe un núcleo común de datos que sea utilizado en todas las provincias para datar la muerte.

Por otro lado, los modelos matemáticos clásicos usados para la datación de la muerte ha demostrado ser limitados [1], [3] y [4]. Por esta razón se hace necesario también, adecuar y validar los mismos a las diferentes geografías de Argentina [5].

El objetivo general de este trabajo es el estudio y desarrollo de herramientas analíticas e informáticas de apoyo y soporte a las tareas de cronotanatación de cadáveres recientes para los sistemas forenses nacionales. La datación de muerte de cadáveres no recientes es extremadamente compleja y la abordaremos en una etapa posterior.

En este artículo presentamos el trabajo realizado que incluye desarrollo de un prototipo de un sistema de bases de datos que permita establecer el IPM y que pueda ser usado en el ámbito de nuestro país. Cabe señalar que este trabajo se ha realizado en el marco del *Proyecto D+i Estudio Analítico y Computacional de la Cronotanatología*<sup>5</sup>.

Lo que resta del artículo está organizado de la siguiente manera; en la Sección 2 presentamos una breve reseña sobre cronotanatodiagnóstico donde introducimos las nociones básicas de la problemática para luego, en la Sección 3 analizar la realidad Argentina. En la Sección 4 presentamos nuestro aporte: el diseño e implementación de un prototipo de sistema de cronotanatodiagnóstico para la República Argentina. Finalizamos en la Sección 5 dado las conclusiones y el trabajo futuro.

## 2 Cronotanatodiagnóstico: un Problema Abierto

El cronotanatodiagnóstico se puede definir como un conjunto de observaciones, técnicas y métodos que permiten establecer un intervalo temporal (IPM) en el cual se ha producido con mayor probabilidad una muerte. Es una de las tres preguntas que se plantean en criminalística ( lugar, data y causa de la muerte) y quizás sea uno de los problemas de mayor dificultad en medicina legal.

La precisión y la aplicabilidad de los procedimientos existentes dependen de las características y las circunstancias del fallecimiento y del tiempo transcurrido desde la muerte. Además, dependiendo del estado que tenga el cadáver, es el tipo de técnica que se utilizará. Se distinguen dos casos: cadáver reciente, aquel que no tiene signos evidentes de putrefacción, y cadáver no reciente, aquel con evidentes signos de putrefacción [2]. Como ya mencionamos, en este trabajo abordamos la datación de cadáveres recientes.

Pese a que la datación de la muerte nunca es una ciencia del todo exacta, hay un gran número de factores que ayudan a tener una idea más precisa del tiempo que ha transcurrido desde el fallecimiento. Estos factores denominados fenómenos cadavéricos, se

<sup>5</sup> Proyectos de Desarrollo e Innovación de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis. Convocatoria 2021

pueden clasificarse en inmediatos, mediatos o tardíos según el tiempo que tardan en aparecer. El caso de cadáveres recientes, los datos a tener en cuenta son:

- Signos de muerte molecular: se analizan cambios que se producen en el cadáver dependientes de circunstancias ambientales, que se pueden conocer y medir (fenómenos abióticos) y los de naturaleza físico química que tienen lugar en el cadáver tras la muerte (fenómenos bióticos). Dentro de los fenómenos abióticos encontramos: enfriamiento, deshidratación, livideces, hipotaxis visceral. Dentro de los fenómenos bióticos podemos mencionar rigor mortis, espasmos, cambios físico químicos, tanatoquímica y microbiología.
- Signos paramédicos: elementos que rodean al cadáver y la situación en que se encuentra, características de la escena del crimen (por ejemplo si ha llovido), objetos de la víctima o de los alrededores (por ejemplo medios electrónicos con baterías que aun no se hayan agotado), etc.
- Signos de vida residual: reacción pupilar a luz, reacción pupilar a atropina y pilocarpina, contracción muscular, mortalidad de células espermáticas, entre otros.
- Signos derivados del cese de funciones vitales: aquí los datos provienen de observar el estado en que han quedado detenidas las funciones fisiológicas al interrumpirse tras la muerte.

Como puede observarse el volumen de datos que maneja un médico forense y la variabilidad de los mismos dependiendo de factores que son propios a cada hecho en sí, hace que la estimación de la data de muerte sea en extremo no-lineal. Los modelos matemáticos clásicos que dan los indicadores para establecer la data de muerte están basados fundamentalmente en modelos lineales, logarítmicos y sigmoidales (según los casos) de unas pocas variables, típicamente una o dos. Este enfoque ha demostrado ser limitado [1], [3], [4].

Para comprender un poco más la complejidad del proceso de datación veamos un ejemplo. La temperatura corporal es uno de los datos más usados en la determinación del IPM. Una vez producida la muerte, la temperatura disminuye de forma gradual y progresiva hasta igualarse con el medio ambiente. Para calcular el intervalo post mortem mediante la temperatura, se sigue un modelo doble exponencial propuesto por Marshall y Hoare en el año 1962. Este modelo establece que es posible diferenciar una doble fase de enfriamiento: una meseta donde prácticamente no hay enfriamiento, y una fase final progresiva. Pero hay múltiples factores que afectan el proceso de enfriamiento de un cadáver: la temperatura ambiental, el peso de la persona dado que la grasa actúa como aislante térmico, las capas de ropas, las corrientes de aire, la humedad, la hipertermia y algunas enfermedades y situaciones previas al fallecimiento (intoxicaciones, sepsis, hemorragias) que alteran la curva de enfriamiento. Además, como los métodos de datación por temperatura dependen de la diferencia de temperatura corporal con relación a la ambiental, su efectividad se reduce notablemente en lugares con temperatura alta o con cambios bruscos de temperatura.

La complejidad y las dificultades que plantea la determinación del IPM son categóricas y es por que constituye uno de los problemas más complejos que afronta el médico forense.

### **3 Cronotanodiagnóstico: Software y Realidad Argentina**

Establecer en la actualidad el intervalo post mortem (IPM) de forma precisa sigue siendo un reto. Argentina no escapa a esta realidad. Como explicamos en la sección anterior, calcular el IMP es un problema no lineal, de múltiples variables cuyos valores se ven afectados por múltiples factores. Quizás esta sea una de las principales razones por las que el software de apoyo al cronotanodiagnóstico sea escaso o de uso no masivo como ocurre en otras ciencias.

Veamos un ejemplo. El software AMASoft ([www.amasoft.deindex\\_e.html](http://www.amasoft.deindex_e.html)) utiliza dos métodos para realizar el proceso de datación: Nomograma de Henssge [3] y métodos no basados en la temperatura. En el caso del Nomograma de Henssge, no es adecuado para las condiciones climáticas habituales en la mayor parte nuestro país porque requiere variaciones térmicas suaves de menos de 5 grados centígrados a lo largo de día, con un rango de entre 16 a 24 grados centígrados. Esto implica que el Nomograma solo es utilizable en la región sur del país. Una instancia superadora del modelo de Henssge fue propuesta en [6] donde los autores proponen un modelo termodinámico de diferencias finitas, cuya inicialización (condiciones iniciales de frontera) es una lectura termométrica de la piel del cadáver. Lamentablemente, este enfoque no es aplicable a la realidad forense Argentina debido al tipo de equipos requeridos para tomar las lecturas y el entrenamiento que se requeriría del personal: formación en discretización del espacio y conocimientos elementales de la teoría de ecuaciones de diferencias finitas.

Con respecto a los métodos no basados en temperaturas usados en AMASoft, éstos necesitan como datos de entrada: rigidez, livideces, excitabilidad mecánica de los músculos esqueléticos, excitación eléctrica de músculos de la mímica y excitabilidad química del iris (atropina, tropicamid/cyclopent, acetilcolina). Y es aquí cuando nos enfrentamos con el segundo problema: no siempre existe la disponibilidad de esos datos. Mas aún, no existe un núcleo común de datos que sean usado por todos los forenses del país para realizar el proceso de datación. Si bien hay un consenso general sobre qué datos deberían usarse para datar la muerte, los datos que realmente se usan quedan determinados por la circunstancia de la muerte, por la disponibilidad de recursos y en algunos casos también por la experiencia del médico forense que interviene.

Todo lo expuesto justifica que el relevamiento hecho sobre software existente en nuestro país para cronotanodiagnóstico (ver Sección 4.1) arrojó que las herramientas informáticas con las que cuenta un médico forense para datar la muerte son escasas o nulas en la mayoría de los casos. Resulta fundamental entonces proveer de herramientas tecnológicas que sirvan de apoyo al cronotanodiagnóstico, las que deberán surgir de un enfoque multidisciplinar del problema lo que asegurará la robustez de las mismas.

### **4 Nuestro Aporte: Un Prototipo para un Sistema de Datación**

En este trabajo abordamos el problema de cronotanodiagnóstico en Argentina proponiendo un cambio de paradigma: a partir del diseño de una base de datos específica, aplicar algoritmos de clustering para hallar clusters relevantes de casos, agrupados según múltiples factores extrínsecos e intrínsecos. En una segunda etapa, abordaremos el problema de desarrollar modelos matemáticos de cronotanodiagnóstico específicos para los diferentes clusters de casos hallados.

El objetivo final de este trabajo es diseñar un sistema de base de datos adecuado para la comunidad tanatológica argentina, que hemos llamado **SIBDaCAR** (sistema integral de base de datos cronotanatológica argentina). Lo que aquí presentamos es la primera etapa del trabajo que consistió en el desarrollo de un prototipo del sistema SIBDaCAR. Dada la complejidad del problema, decidimos usar la técnica de prototipado evolutivo. Describimos a continuación el trabajo realizado en el desarrollo de este prototipo.

#### 4.1 Análisis de requisitos

Como todo proyecto de software, comenzamos con el análisis de requerimientos para detectar requerimientos funcionales y no funcionales del sistema usando como técnicas de elicitación entrevistas, observación y encuestas.

Las entrevistas inicialmente se realizaron con médicos forenses pertenecientes a las provincias de Mendoza, Córdoba, Tierra del Fuego y Corrientes. Luego de cada entrevista, se realizó un brainstorming con el equipo encargado de desarrollar el prototipo.

En lo que refiere a la observación, dado que por la temática involucrada es imposible realizar la observación directa de las actividades llevadas a cabo en el proceso de datación, se organizó un seminario de 4 encuentros donde médicos forenses expusieron casos de datación de distintas regiones del país y bajo distintas circunstancias.

Por lo explicado en la sección anterior, un punto importante era establecer un núcleo común de datos. Para ello se elaboró una encuesta que fue distribuida entre médicos forenses de todo el país. En esta encuesta se presentaban datos usados en cronotanodiagnóstico organizados en dos categorías:

*Datos tomados en el lugar del hecho:* temperatura corporal, posición del cuerpo, temperatura del ambiente, reacción de la pupila a la luz, evaluación/descripción de las prendas en circunstancias de cadáver vestido, evaluación del contexto ambiental en el lugar del hallazgo.

*Datos tomados en el Instituto Forense:* temperatura hepática, temperatura rectal, temperatura auricular livideces, rigidez, opacidad de la córnea, concentración de potasio en humor vítreo, grado de putrefacción, excitabilidad mecánica de los músculos esqueléticos, excitación eléctrica de músculos de la mímica, evaluación del contenido gástrico, evaluación del contenido intestinal, estado de la vejiga, reacción pupilar por estimulación lumínica, reacción pupilar por estimulación química, movilidad del epitelio respiratorio, movilidad de los espermios, el mantenimiento del cadáver entre levantamiento y la autopsia.

Por cada dato se pidieron dos valoraciones: *el grado de importancia* que le asigna el encuestado a ese dato, en una escala de 0 a 5, donde 0 significa nada importante y 5 significa muy importante, y *la frecuencia de uso* que el encuestado hace de ese dato, usando la escala de valores: nunca, 20%, 40%, 60%, 80%, siempre.

**Resultados obtenidos.** Con respecto a los requisitos se documentaron los mismos especificando: objetivo del sistema, alcances y limitaciones, requisitos no funcionales y requisitos funcionales. En el caso de los requisitos funcionales se organizaron por funcionalidades y se describió de manera detallada cada uno de ellos. La Figura 1 muestra

<b>Identificador:</b> R5	<b>Nombre:</b> Detección de inconsistencias entre los datos ingresados
<b>Tipo (necesario/deseable):</b> Deseable	<b>Funcionalidad:</b> Datación de la muerte
<b>Crítico:</b> NO	<b>Prioridad de desarrollo:</b> Media
<b>Entrada:</b> core de datos	<b>Salida:</b> Los datos ingresados no son consistentes entre si.
<b>Descripción:</b> Permitirá realizar la correlación de datos para la detección de posibles inconsistencias entre los mismos.	
<b>Manejo de situaciones anormales:</b> Emitir alerta	
<b>Criterios de aceptación:</b> El usuario deberá confirmar los datos ingresados	

Fig. 1. Documentación del requisito R5 perteneciente a la funcionalidad *Datación*.

la descripción de un requisito funcional. Por cuestiones de espacio no mostramos la documentación completa pero la misma se encuentra disponible para quien así requiera.

Con respecto a la encuesta, se recibieron el total 35 respuestas que se analizaron usando la plataforma data studio. Quizás lo más sorprendente fue ver que no hay una relación directa entre grado de importancia y frecuencia de uso. La figura 2 muestra a modo de ejemplo el resultado para el dato *reacción de la pupila a luz*. Como puede observarse es un dato considerado de importancia por un 72% de los encuestados aproximadamente (zonas en tonos de azul) pero que el 75% de los encuestados refiere que nunca lo usa. En la encuesta también se preguntaba sobre el software de apoyo utilizado, obteniendo como respuesta que, de los 35 encuestados, solo uno refiere usar el software SWISSWUFF (<https://www.swisswuff.ch>).

## 4.2 Elaboración de modelos

En la segunda etapa se elaboraron los siguientes modelos para SIBDaCAR:

- El modelo entidad relación y el modelo relacional de la base de datos
- El diagrama de componentes UML del sistema.
- El diagrama de casos de uso UML

Por cuestiones de espacio, solo mostramos el modelo relacional en la Figura 3, que fue generado usando MySQL Workbench. Los datos allí considerados son los que se establecieron como núcleo, pero sin descartar aquellos que se consideren importantes aunque tengan poca frecuencia de uso. El objetivo es que el proceso de datación utilice al menos los datos pertenecientes al núcleo, pero que se pueda mejorar la estimación en aquellos casos en los que se cuentan con otros datos adicionales al núcleo.

## 4.3 Implementación del prototipo

En la programación del prototipo se utilizó Python como lenguaje principal y Javascripts, CSS y HTML para la parte gráfica. La elección de Python se basó en que es software libre bajo licencia Python Software Foundation License, licencia muy parecida a la de GPL, con la facilidad de que se pueden distribuir los binarios del código sin tener que



**Fig. 2.** Resultado de la encuesta para el dato *reacción de la pupila a la luz*

anexar las fuentes; es multiparadigma y multiplataforma y ofrece frameworks de gran utilidad para el desarrollo de aplicaciones web.

La implementación del prototipo incluyó la generación de la bases datos. Esto fue realizado usando como motor de bases de datos MySQL dado que es software libre bajo la licencia GPL de código abierto, es personalizable porque la licencia GPL permite adecuarlo a necesidades específicas de la aplicación, es multiplataforma, permite varias capas de seguridad y soporta bases de datos de gran tamaño.

Por cuestiones de espacio solo mostramos las pantallas que consideramos más representativas. La Figura 4 muestra las pantallas correspondiente al menú principal y al ingreso de un nuevo expediente. El menú principal consta de 4 opciones: expedientes, cadáveres, autopsias y estimación (IPM). La Figura 5 muestra las pantallas correspondientes a los módulos de ingreso de datos del cadáver, ingreso de datos de la autopsia y el módulo datación. En el caso del módulo de datación se consideran tres posibilidades: nomograma de Henssge, datación usando el núcleo de datos y detección de casos similares usando algoritmos de clustering. Para el caso del nomograma, el sistema recomendará o no su uso según las condiciones de temperatura ambiental, que se obtendrán automáticamente a partir de la ubicación ingresada al generar un expediente.

## 5 Conclusiones y Trabajo Futuro

En este artículo presentamos el desarrollo de un prototipo de un sistema integral de bases de datos (SIBDaCAR) que permita establecer el IPM y que pueda ser usado en el ámbito de nuestro país. El trabajo incluyó el análisis de requisitos, la elaboración de modelo y la programación del prototipo del sistema, usando la idea de prototipado evolutivo. El trabajo realizado hasta el momento nos permitió comprender la enorme complejidad del problema y visualizar las carencias de herramientas informáticas apropiadas a las condiciones de nuestro país para el cronotanodiagnóstico. Como trabajo futuro nos proponemos estudiar el estudio de métodos de clustering. Ya hemos iniciado el desarrollo de un modelo de predicción basado en clustering, redes neuronales, y aprendizaje supervisado.

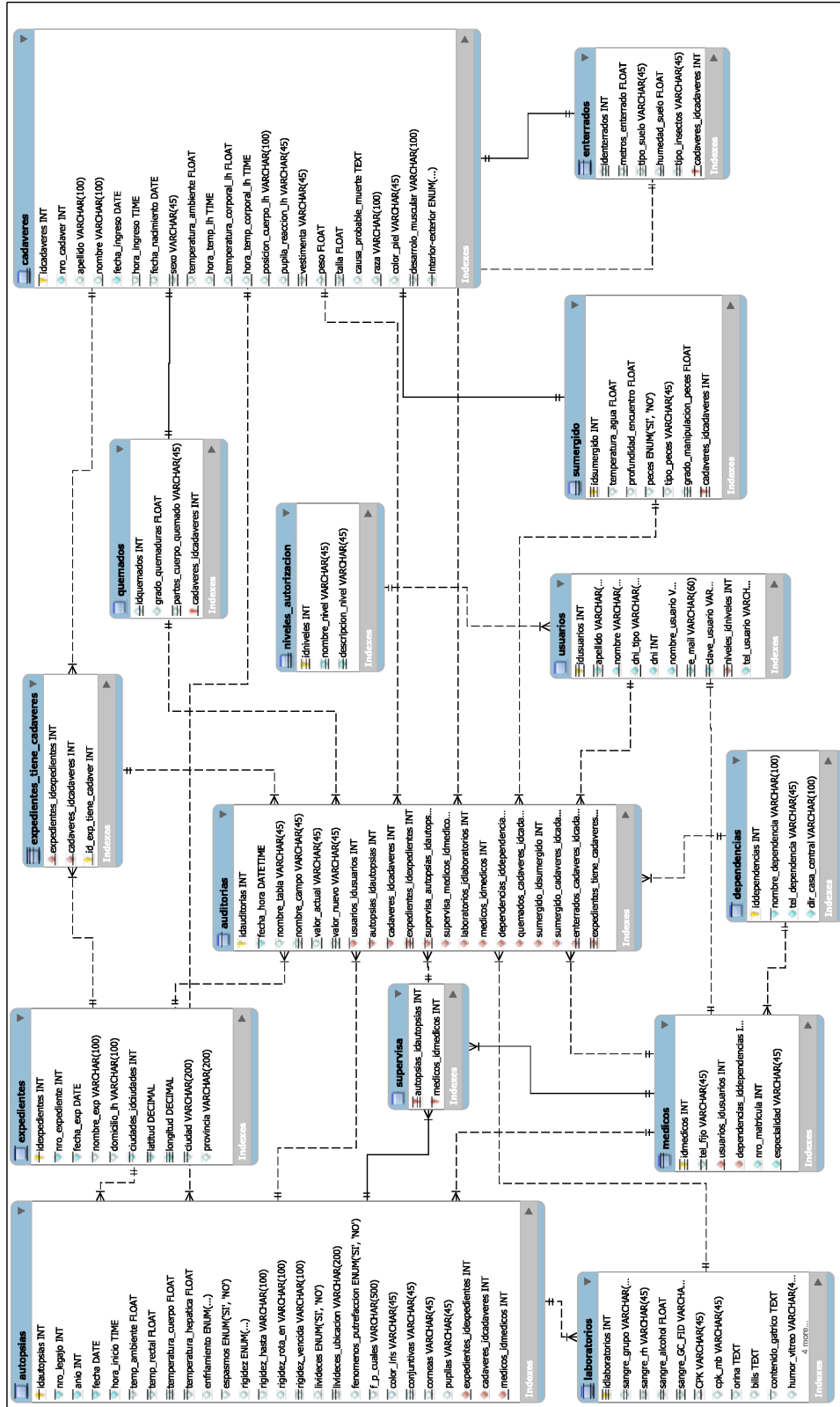


Fig. 3. Modelo Relacional de SIBDaCar, realizado usando MySQL Workbench



## Agradecimientos

Agradecemos a la Dra Inés Aparici (Médica Forense Subdirectora, Poder Judicial de Tierra del Fuego), al Dr. José Gálvez (Jefe de Gestión del Instituto Médico Forense del Poder Judicial de Corrientes) y al Dr. Moisés Dib (Jefe del Instituto de Medicina Forense de Córdoba) por la colaboración recibida para el desarrollo de este trabajo.

## References

1. Maldonado, A. L. (2010) *La data de la muerte, un desafío no resuelto.*. Revista Española de Medicina Legal.
2. Trezza, F. C. (2006) *La data de la muerte. Las transformaciones cadavéricas.* Ediciones Argentinas. Buenos Aires.
3. Henssge, C., & Madea, B. (2007). *Estimation of the time since death* Forensic science international, 165(2-3), 182-184.
4. Vidoli, G. M., Beasley, M. M., Jantz, L. M., Devlin, J. B., & Steadman, D. W. (2020). *The future of taphonomic research.* Estimation of the Time since Death: Current Research and Future Trends, 251?261.
5. Hayman, J., & Oxenham, M. *Estimation of the time since death in decomposed bodies found in Australian conditions.* Australian Journal of Forensic Sciences, 2017, 49(1), 31-44.
6. Wilk, L., Hoveling, R., Edelman, G., Hardy, H., Schouwen, S., Venrooij, H. & Aalders, M.C.G. (2020). *Reconstructing the time since death using noninvasive thermometry and numerical analysis.* Science Advances 6(22), 2020, Pages: eaba4243.

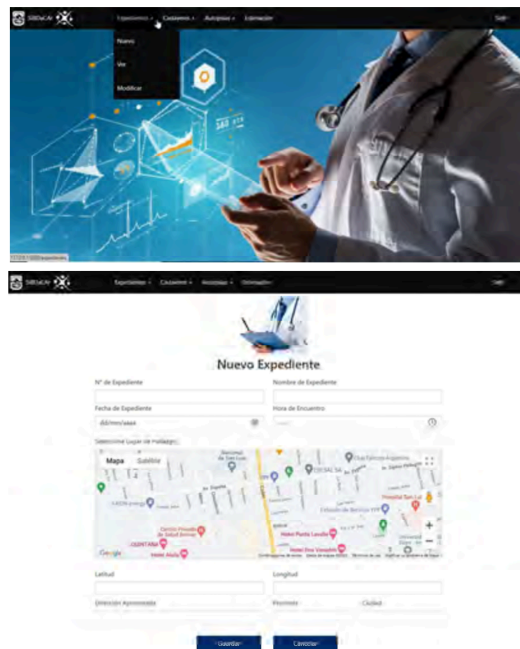


Fig. 4. Menú principal e ingreso de un nuevo expediente.

**Nuevo Cadáver**

Usted va a ingresar un nuevo cadáver al expediente N° 123

Número de Cadáver

Apellido:  Nombres:

Fecha de ingreso:  Hora de ingreso:

Fecha de fallecimiento:  Sexo:

Temperatura Ambiental en LH:  Hora de Temperatura Ambiental en LH:

Temperatura Corporal LH:  Hora de Temperatura Corporal en LH:

Posición del Cuerpo en LH:  Pupila Reacción en LH:

Vestimenta:  Peso:

Talla:  Oxígeno Probable de Muerte:

Raza:  Color de Piel:

Desarrollo Muscular:  Encesado:

Encontrado:  Enterrado:

Quemado:

**Nueva Autopsia**

Cadáveres pertenecientes al expediente N°: 1234

Selección del cadáver:

Médico Principal:

Médicos Supervisores:

**Ingreso los datos**

Nº de Legajo:  Año:

Fecha:  Hora de Inicio:

Temperatura Ambiental:  Temperatura Rectal:

Temperatura Campo:  Temperatura Hepática:

Enfriamiento:  Espasmo:

Enfriamiento:  Espasmo:

Enfriamiento:  Espasmo:

Rigidez:  Rigidez Hara:  Rigidez Bto en:  Rigidez Venita:

Livores:  Livores - Ubicación:

Fenómeno de Putrefacción:

Color Hls:

Cometas:  Pupila:

**Datación**

Cadáveres pertenecientes al expediente N°: 123

Selección del Cadáver:

Selección un método para estimar hora de muerte

**Algorítmico de Hestage**

**Cono de datos**

**Clustering**

Fig. 5. Ingreso de datos de cadáver y autopsia, y módulo de datación.