

UNIVERSIDAD SAN PABLO - CEU
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

INGENIERÍA EN INFORMÁTICA



PROYECTO FINAL DE CARRERA

**<TÍTULO DEL
PROYECTO FINAL DE CARRERA>**

Autor: **José Carlos Jiménez Gómez**

Director: **Raúl García García**

noviembre de 2016

Versión GitHub

Revision Branch: Help!@Help! • Release: Help! (Help!) • Head tags:

Hash Help!

Autor Help!

Fecha Help!

Committer Help!

Fecha Help!

Calificación

Página reservada para la calificación del proyecto

Resumen

Abstract

Abstract in English.

Agradecimientos

Es de bien nacidos ser agradecidos.

Índice general

Calificación	III
Resumen	IV
Abstract	V
Agradecimientos	VI
Índice General	XI
Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas	XIII
1. Introducción	14
1.1. Motivación del Proyecto	16
1.2. Antecedentes	16
1.3. Organización de la memoria del PFC	18
1.4. Metodología	19
1.4.1. Documentación	19
1.4.2. Metodología de desarrollo	19
2. Estado de la cuestión	21
2.1. Voto electrónico	21
2.1.1. Niveles	22
2.1.2. Verificabilidad vs. Secreto	25
2.1.3. Requisitos del voto electrónico	27
2.1.3.1. Fujioka, Okamoto y Ohta	27
2.1.3.2. Universidad de Extremadura	28
2.1.3.3. Estudio holandés	31
2.2. Experiencias de Voto por Internet	33

2.2.1. Estonia	35
2.2.2. Noruega	39
2.2.3. Suiza	39
2.2.4. UNED	41
2.2.5. Universidad del País Vasco	41
2.2.6. Escuela Politécnica Superior - Universidad San Pablo CEU	42
2.2.7. Universidad de Lovaina	42
2.3. Proyectos varios de voto por Internet	42
2.3.1. Votescript	43
2.3.2. Online E-Voting Prototype with PTC Web Services	44
2.3.3. SELES	44
2.3.4. SEVI	45
2.3.5. Civitas	46
2.4. Proyectos de Sistemas de Votación Auditables Punto a Punto - E2E Auditable Voting Systems	46
2.4.1. ADDER	48
2.4.2. Ágora Ciudadana - Ágora Voting	51
2.4.3. Helios	51
2.4.4. Comparación Ágora - Helios	52
2.5. Primitivas criptográficas	53
2.5.1. Firma ciega	54
2.5.2. Secreto compartido	55
2.5.3. Pruebas de conocimiento nulo	55
2.5.4. Mixnets	56
2.5.5. Cifrado homomórfico	57
2.5.5.1. ElGamal / ElGamal Exponencial	57
2.6. Esquemas de Voto Electrónico	58
2.6.1. Prueba de conocimiento cero	62
2.7. Estado actual de las tecnologías	62
2.7.1. Certificados Digitales	62
2.7.2. NFC	63
2.7.3. Smart Cards	66
2.7.4. DNle	66
2.7.5. Python	66
2.7.6. Django	66
2.7.7. Android	66
2.7.8. Web	66

3. Planteamiento	67
3.1. Objetivos finales del proyecto	67
3.2. Descripción del sistema actual	69
3.2.1. Elecciones a la Junta de Escuela de la EPS	69
3.2.1.1. Definición de la Junta de Escuela	69
3.2.1.2. Proceso electoral	71
3.2.1.2.1. Plazos	71
3.2.2. Elecciones de delegados y subdelegados de curso en la EPS	71
3.2.2.1. Proceso electoral	71
3.2.2.1.1. Plazos	71
3.2.3. Alcance del proyecto	71
3.2.4. Fases del proceso electoral	72
3.2.4.1. Fase preelectoral	74
3.2.4.1.1. Definición de los límites o reglas de la elección .	74
3.2.4.1.2. Elaboración del censo	74
3.2.4.1.3. Registro de votantes	75
3.2.4.1.4. Presentación de las candidaturas	76
3.2.4.1.5. Generación de claves de encriptado	77
3.2.4.2. Fase electoral	78
3.2.4.2.1. Identificación del votante	78
3.2.4.2.2. Votación	83
3.2.4.3. Fase postelectoral	84
3.2.5. Logs	84
3.2.6. Descripción	85
3.2.6.1. Diagrama Entidad-Relación	89
3.2.6.2. Flujo oAuth DNle	90
4. Riesgos	92
4.1. Identificación y gestión de riesgos	92
5. Análisis del sistema	96
5.1. Especificación de requisitos	96
5.1.1. Introducción	96
5.1.2. Ámbito del sistema	97
5.1.3. Requisitos funcionales	98
5.1.4. Requisitos propios del voto electrónico	99
5.1.5. Requisitos del proceso electoral	100
5.1.6. Requisitos no funcionales	101

5.1.7. Necesidades del esquema de voto electrónico	102
5.2. Roles / Actores	103
5.3. Modelo Conceptual	106
5.4. Modelo de Casos de Uso	106
5.4.1. Actores	106
5.5. Modelo de Comportamiento	107
5.6. Modelo de Interfaz de Usuario	107
5.7. Esquema de Voto Electrónico	107
5.8. Helios Voting	107
5.8.1. Fases de la elección en Helios	109
5.8.2. Auditorías	112
5.8.3. Protocolo criptográfico	113
5.8.4. Identificación	114
5.8.5. Adaptación a dispositivos	122
5.8.6. Votación	123
5.8.7. Difusión de resultados	124
5.8.7.1. Comprobación del voto	125
6. Solución	127
6.1. Diseño	127
6.1.1. Diseño del esquema de votación	127
6.1.1.1. Registro	127
6.1.1.2. Identificación / Autenticación	129
6.1.1.3. Elección de candidatura	130
6.1.1.4. Votación	130
6.1.1.5. Escrutinio	130
6.1.1.6. Difusión de resultados	130
6.1.2. Diseño de la arquitectura	130
6.1.3. Diseño de la capa de datos	130
6.1.4. Diseño de la red	131
6.1.5. Diseño de la app de identificación	131
6.1.6. Diseño de la interfaz de usuario	131
6.1.6.1. Estructura de la página web	132
6.1.6.2. Estructura de la aplicación móvil	132
6.1.6.3. Accesibilidad	132
6.1.6.4. Imagen corporativa	132
7. Plan de pruebas	135

8. Líneas futuras	136
9. Conclusiones	137
 Bibliografía	 138
Anexos	144
A. Instalación de Helios	144
 Notas (para borrador)	 145

Índice de figuras

1.1. U.S. Patent 0,090,646 – Electrographic Vote-Recorder: Primera patente de Thomas A. Edison. Permitía un voto de tipo 'A favor' o 'En contra' a través de dos interruptores. (1869). Fuente: Wikipedia	17
1.2. Electrographic Vote-Recorder: Fotografía del invento de Thomas A. Edison. Fuente: Rutgers.edu	17
2.1. Tipos de e-Voting [13, 41]	21
2.2. Categorización de los sistemas de voto	22
2.3. Participación histórica de elecciones con i-voting en Estonia.	36
2.4. Histórico: Porcentaje de voto presencial comparado con el i-Voting en Estonia.	36
2.5. Histórico: Porcentaje de voto por Internet frente al total de votos en Estonia.	37
2.6. Primera aproximación de funcionalidad de SEVI	45
2.7. Diagrama de secuencia del procedimiento para una elección con ADDER [25].	49
2.8. Logo de RFID	63
2.9. Arquitectura de un chip NFC	64
3.1. Diagrama ER del sistema Helios Voting	89
3.2. Flujo oAuth adaptado para permitir el uso del DNIe	91
5.1. Fases de una elección en Helios Voting	110
5.2. Fase de Login en Helios Voting	110
5.3. Fase de creación de una elección en Helios Voting	111
6.1. Flujo oAuth para servicio de autenticación	130
6.2. Arquitectura	131
6.3. Arquitectura nivel 2	131
6.4. Logo de la Universidad San Pablo CEU en su web	133

Índice de tablas

2.1. Evolución del voto por Internet en Estonia	35
2.2. Comparativa de la evaluación de los sistemas de Votos por Internet de Estonia y Noruega conforme al criterio de Seguridad de la Información	40
2.3. Comparativa de la evaluación de los sistemas de Votos por Internet de Estonia y Noruega conforme a los criterios de verificación, auditoría y procedimiento	40
2.4. Comparativa Ágora - Helios, por Codina Lligoña [13]	53
2.5. Resumen de ventajas y desventajas de los esquemas de voto electrónico según Morales Rocha [29] (p. 109)	61

Capítulo 1

Introducción

Un sistema de voto por Internet puede tener diferentes formas de ser desarrollado. Se puede diseñar un sistema basado en sufragio desde cabinas electorales gestionadas electrónicamente que envían el conteo a través de la red. En otro marco, se puede diseñar un sistema completamente distribuido en el cual el votante puede ejercer su derecho al voto desde cualquier dispositivo electrónico y cualquier lugar del planeta, enviando el contenido de su voto a través de Internet a la autoridad de recuento electoral.

Ambas soluciones son dos ejemplos diferentes de lo que se puede entender como voto por Internet (i-voting) y que, en muchos ámbitos, se conoce también como voto electrónico (e-voting). Este término no es que sea erróneo, sino incorrecto, ya que carece de exactitud al llamar a un subconjunto con el nombre del conjunto que lo contiene:

El voto por Internet, es un tipo de voto electrónico, pero no todos los sistemas de voto electrónico se realizan a través de Internet.

IMAGEN DOS CONJUNTOS, UNO (E-VOTING) CONTIENE AL OTRO (I-VOTING)

Este proyecto trata de entrar en la problemática del voto electrónico remoto frente al presencial, de las reticencias sociales y tecnológicas que influyen en su reducida implantación en procesos electorales de gran importancia y alto número de electores. Para ello, vamos a reproducir la situación a escala reducida. Plantearemos una posible solución al proceso necesario para llevar a cabo las Elecciones a la Junta de Escuela de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad San Pablo - CEU.

Con este planteamiento es obvio que no vamos a solucionar las trabas técnicas y sociales del voto por Internet a nivel de unas elecciones legislativas en, por ejemplo, España. Es un tema que se escapa del objetivo de este PFC, pero sí que vamos a tratar de identificar algunos de los agentes influyentes y buscar una posible solución aplicable a la elección a la Junta de Escuela.

o la de Delegados?

Así, perseguiremos dos objetivos. Por un lado, estudiar la dificultad existente para la implantación del voto por Internet en las elecciones nacionales. Por otro, un soporte electrónico al proceso completo de las Elecciones a la Junta de Escuela, con el cual obtendremos una mejora significativa en el mismo respecto a procesos anteriores.

Para poder acometer el proyecto, previamente habrá que definir el tipo de votación que se quiere implementar. De nuevo, hay que tener en cuenta que, aunque se hable de voto electrónico, la intención de este Proyecto de Fin de Carrera es el de desarrollar una solución de voto por Internet. No hablamos de voto electrónico remoto, sino de voto por Internet dando a los votantes la libertad de poder ejercer el voto desde cualquier lugar y dispositivo con conexión a Internet, sin necesitar la presencia física del mismo en un local de votación. Este detalle, al tratar de separar el concepto del voto por Internet del concepto de voto electrónico, aunque puede parecer trivial, en realidad es fundamental. En el capítulo XXXXXXXX se ahondará en ello, pero como avance se puede destacar que una de las grandes diferencias a tener en cuenta es que con el voto electrónico remoto se pueden utilizar máquinas de votación (que también podrían emitir el voto por Internet), las cuales pueden generar un recibo con el voto emitido por el votante, al estilo de las papeletas que llenan la urna electoral, mientras que con el voto por Internet puro, esto no es tan obvio. Con este mecanismo, la auditoría es más simple para el voto electrónico con máquinas en el centro de votación, pues se podrían contar las papeletas generadas.

linkar al capítulo correspondiente

Si no se generan estos recibos ni hay una urna física donde se depositan, ¿cómo podemos estar seguros de que hemos votado? ¿Qué ocurre si el sistema tiene fallas y no se contabilizan (o lo hacen de forma incorrecta) los votos, teniendo en cuenta que puede ser imposible un conteo físico de papeletas al no existir estas? Como estas, hay muchas cuestiones a las que el voto por Internet debe dar solución de forma fiable antes de poder acometer su implantación en procesos electorales tradicionales.

La forma de llegar a la solución buscada debe comenzar identificando los fac-

tores que afectan a un proceso electoral general y, a continuación, personalizar los que se encuentran en el que vamos a estudiar. Una vez identificados estos agentes, definiremos las fases que comportan unas elecciones y estudiaremos cómo podrían ser apoyadas tecnológicamente, evaluando cómo llegar al punto óptimo de integración con el sistema tradicional para mejorar el proceso.

La primera fase se concentrará en desarrollar los sistemas asociados a la fase preelectoral. En ella, se recoge el censo electoral y se identifican tanto los candidatos como los diferentes cargos que se votan.

La segunda fase, la electoral, la identificamos con los procesos que se requieren durante el periodo que dura la elección (ya sea un día o varios). Esta consistirá en desarrollar los sistemas de identificación y validación de votantes, el sistema de votación, ss

[Acabar la introducción](#)

1.1. Motivación del Proyecto

[COMENTADO POR AHORA](#)

1.2. Antecedentes

[Breve Historia del voto electrónico](#)

En la actualidad, son muchos los proyectos que tratan de incluir el voto electrónico en los procesos electorales por todo el planeta. Estos intentos, de hecho, no se limitan a pequeños sufragios de entidades privadas o gobiernos locales, ya que se han propuesto múltiples paradigmas diseñados para ser implementados en elecciones a nivel estatal, como se puede ver en las experiencia de Estonia, país en el que se desarrolla la votación electrónica remota vinculante con mayor censo activo.

El voto electrónico se lleva tratando de desarrollar e implementar desde hace bastante tiempo. Concretamente, podríamos datar el comienzo en el año 1868, cuando el inventor estadounidense Thomas Alva Edison (1847-1931) registró su primera patente, consistente en un instrumento simple para el recuento mecánico

de votos. El instrumento se podía colocar en la mesa delante de cada congresista y tenía dos botones, uno para el voto a favor y otro para el voto en contra. Pese a considerarlo un avance, no consiguió ser aceptado en el Congreso de Washington, donde le dieron el siguiente motivo para argumentar el rechazo de los representantes a esta nueva tecnología:

If there is any invention on Earth that we don't want down here, that is it.

Si hay en la tierra algún invento que no queremos aquí, es exactamente el suyo. Uno de nuestros principales intereses es evitar fraudes en las votaciones, y su aparato no haría otra cosa que favorecerlos.

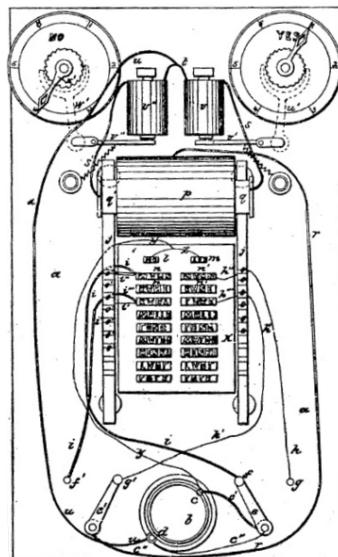


Figura 1.1: U.S. Patent 0,090,646 – Electrographic Vote-Recorder: Primera patente de Thomas A. Edison. Permitía un voto de tipo 'A favor' o 'En contra' a través de dos interruptores. (1869). Fuente: Wikipedia

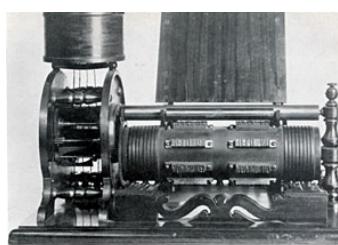


Figura 1.2: Electrographic Vote-Recorder: Fotografía del invento de Thomas A. Edison. Fuente: Rutgers.edu

A partir de este intento, el voto electrónico ha avanzado tecnológicamente y socialmente, logrando herramientas más sofisticadas y seguras en conjunción con un

entendimiento, comprensión y, en algunos casos, aceptación de su uso. Estos factores han hecho posible que se hayan podido implementar soluciones e integrarlas en procesos electorales reales, ya sea a nivel nacional o de entidades o estamentos.

Se considera que el inicio del desarrollo del voto electrónico moderno está datado en 1964, año en el que site condados de EEUU utilizaron un sistema de voto electrónico para las Elecciones Presidenciales.

UN POQUITO MÁS DE HISTORIA ***** HABLAR DE DRE Y TARJETAS PERFORADAS

En el año 1981 se produce un hito en la historia del voto electrónico. El criptógrafo David Chaum publica [11] la primera propuesta de un sistema criptográfico diseñado para proteger la privacidad del votante. Entre otras propuestas, en esta publicación se recoge su primera idea de un sistema verificable *end-to-end*, basado en el uso de redes mixtas (mix networks o mixnets).

En la época actual, prácticamente la totalidad de los procesos electorales implementan soluciones tecnológicas para algunos pasos de la fase de recuento de votos, con el fin de un recuento más rápido de votos y una difusión de resultados sólo varias horas después del cierre de los colegios electorales. Es el caso de, por ejemplo, España, donde tanto el Ministerio del Interior como las Comunidades Autónomas requieren que el conteo provisional de los votos se realice en un tiempo corto durante la misma noche electoral.

En este caso, las empresas adjudicatarias implementan soluciones tecnológicas para llevar a cabo el proceso. Así, se puede destacar la tecnología electoral de empresas como Indra [37] - pionera en uso de tablets para enviar información de recuento o la Mesa Administrada Electrónicamente que agiliza y da soporte a la labor de los miembros de mesa, desde gestión del censo a generación de actas de escrutinio - o Scytel [39], referente a nivel mundial en proyectos de voto electrónico, tanto presencial como remoto.

1.3. Organización de la memoria del PFC

En el Capítulo 3 ... En el Capítulo 4 ... En el Capítulo 5 ... En el Capítulo 6 ...
En el Capítulo 7 ... En el Capítulo 8 ... En el Capítulo 9 ...

1.4. Metodología

1.4.1. Documentación

Para la redacción del documento del PFC se hizo uso de L^AT_EX, a través del IDE TexnicCenter.

1.4.2. Metodología de desarrollo

Desarrollamos este apartado o lo obviamos?

Fases de la ingeniería de software

En el desarrollo de proyectos de software existen múltiples de metodologías. Una de ellas basa el desarrollo en 5+2 etapas:

1. Análisis
2. Especificación
3. Diseño
4. Implementación
5. Prueba
6. Documentación
7. Mantenimiento

Aunque para este proyecto, la metodología a emplear se basa en estas fases, por las características el mismo habrá diferencias, sobre todo en cuanto a la distribución de recursos y tiempo entre ellas.

A diferencia de los proyectos de software evolutivos o mantenidos en el tiempo, este proyecto está diseñado para ser puesto en producción durante un relativamente corto espacio de tiempo. Por esto, la fase de Mantenimiento no merece disponer de recursos abundantes, puesto que se limitaría al tiempo en el que el sistema está en producción, lo cual será desde un día a unos pocos, lo que la

Autoridad Electoral considere oportuno que estén las urnas abiertas junto con el tiempo empleado para el conteo de resultados y su difusión.

Las fases de análisis y diseño, como en todos los proyectos son realmente importantes, en este caso, además, porque tratan datos muy sensibles, como es la elección de representantes y tienen que lidiar con problemas como el anonimato del votante rompiendo la asociación voto-votante, la autenticidad del votante, verificabilidad del voto, etc.

Aquí referencia a los requisitos del voto electrónico

La fase de implementación, si el diseño ha sido bien desarrollado debería llevar el tiempo necesario para realizar el software y la integración de los diferentes módulos y sistemas. Sin embargo, la fase de Pruebas cobra una importancia capital en este tipo de proyectos. Al tener una vida tan corta y una importancia en cuanto a datos tan alta, el margen de error del sistema durante el breve período que estará en producción debe ser residual. Este tipo de sistemas deben tener una tolerancia a fallos de prácticamente el 100 %. No hay opción a realizar sistemas evolutivos, por lo que hay que tratar de que no lleguen errores a producción, ya que los que se encuentren durante la jornada electoral se tendrían que arreglar en el momento, con las implicaciones que esto acarrea en cuanto a riesgo de una mala solución y compromiso con los datos o, incluso, con la transparencia del proceso (técnicos modificando código fuente durante la jornada electoral no es una buena práctica de cara a auditorías externas en un sistema electrónico de voto). Por ello, la única forma en la que se

Capítulo 2

Estado de la cuestión

2.1. Voto electrónico

Cuando se habla de voto electrónico, una primera acepción del término se refiere a los procesos electorales cuyas fases pueden llevarse a cabo haciendo uso de tecnologías de la información. Dentro de estas fases susceptibles de ser implementadas con protocolos informáticos se incluyen el registro de votantes, diseño de mapas de distritos o circunscripciones electorales, y la gestión, administración y logística electoral; así como el escrutinio provisional o definitivo, transmisión de resultados y difusión de los mismos, o el sufragio del voto en sí mismo.

No obstante, una definición más simple del voto electrónico se refiere únicamente a este último acto de votar, ya sea a través Internet o simplemente utilizando sistemas que no estén intercomunicados a través de Internet, aunque sí con un servidor receptor del voto.

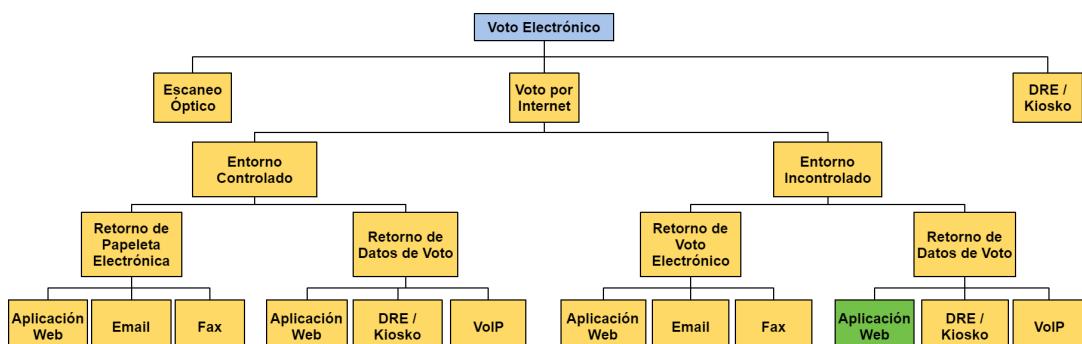


Figura 2.1: Tipos de e-Voting [13, 41]

2.1.1. Niveles

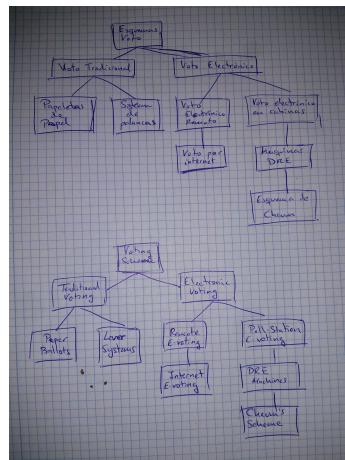


Figura 2.2: Categorización de los sistemas de voto

Podemos estudiar el voto electrónico separándolo en varios niveles, dependiendo de su implantación en el proceso.

- Nivel 0
- Voto electrónico sustitutivo
- Voto electrónico remoto
 - Voto telemático en local de votación
 - Voto por Internet

- Nivel 0

Es el sistema de voto tradicional, sin hacer uso de elementos electrónicos para llevar a cabo ninguna fase del proceso. Es el sistema que se ha venido utilizando desde las primeras votaciones hasta bien entrado el siglo XX y todavía en uso en muchos territorios del planeta.

- Voto electrónico sustitutivo

En este nivel, se sustituyen algunos procedimientos manuales o elementos utilizados en el voto tradicional por sistemas electrónicos determinados. Lo que se intenta es que el proceso de votación sea lo más parecido al que se ha venido llevando a cabo, pero pudiendo utilizar avances técnicos que mejoren el procedimiento en algunos de los puntos del mismo. Así, dependiendo de la legislación, el nivel democrático y social y la aceptación de la

innovación tecnológica, se han adoptado procesos electorales en los que se hace uso de algunos elementos tales como tarjetas magnéticas o documento de identidad electrónico (para identificar al votante o incluso para emitir el voto), urnas de votación electrónica que recuentan los votos de forma automática (RFID, lector código de barras, etc.), pantallas de votación para selección de candidaturas (en EEUU es una de las formas en las que se elige la opción a votar), sistemas de totalización y consolidación de resultados (para evitar el escrutinio manual), e incluso sistemas para guiar el recuento definitivo pasados unos días de la jornada electoral. Así podemos encontrar muchos más ejemplos.

Como se puede observar, todos los sistemas que se tienen en cuenta en este nivel están orientados a sustituir un elemento del proceso tradicional de votación. Todos están pensados para tener una función en el local electoral, ya sea para la identificación del votante, emisión del voto, escrutinio o (en otro tipo de local electoral) recuento definitivo. Aquí podemos observar, de paso, diferentes fases del proceso electoral, que son fácilmente reconocibles.

- Voto electrónico remoto

En este nivel, el concepto del voto traspasa el local electoral común. Se trata de que el voto se transmita desde un punto de votación a una "urna remota". Dependiendo del punto de origen, podemos dividir este grupo en dos subgrupos, uno en el que los diferentes colegios electorales están interconectados entre si y otro en el que el voto se emite desde cualquier punto con conexión a Internet.

- Voto telemático en local de votación

En esta primera aproximación al voto telemático sigue pensándose en el sistema de voto tradicional en cuanto a que el votante ha de acudir a un local de votación acondicionado para ejercer su derecho al voto. En este local, encontraría una serie de sistemas de identificación (tanto personal frente a los miembros de mesa - como en el sistema tradicional - como telemático frente a una autoridad certificadora remota a través de una identificación digital) para superar el primer paso del proceso. Una vez cerrada la votación, se conectarían los diferentes colegios electorales para comunicar cada uno sus escrutinios y pasar los resultados para la fase de totalización.

- Voto por Internet

La aproximación del voto por Internet es la más ambiciosa en términos tecnológicos y de seguridad. En esta, el votante puede ejercer su derecho al voto desde cualquier punto conectado a Internet, como puede ser su propia casa o el lugar en el que se encuentre de viaje. La identificación del votante debe ser digital y remota. El voto emitido tiene que ser transmitido a la urna electrónica remota que corresponda. No obstante, desde un punto de vista sociológico, este sistema tiene todavía una serie de retos que debe cumplir, como es el acceso universal al proceso de votación, ya que es complicado asegurar que la totalidad de la población podría hacer uso de un sistema informático de este tipo. Además, encontramos dificultades en cuanto a fraude electoral, ataques al sistema, tolerabilidad al fallo, etc.

El término voto electrónico se utiliza también para referirse a los sistemas electorales que tratan de automatizar algunas fases del proceso, como son la autenticación de votantes, la votación y el escrutinio de los votos y/o difusión de los resultados. En el nivel 3 de la clasificación anterior se pueden encuadrar todos estos sistemas que, además de hacer uso de tecnologías de la información para la automatización de estos procesos, se basen en una comunicación de redes telemáticas para interconectar votantes con mesas electorales - urnas digitales - y estas con los centros de procesamiento de resultados.

Son estos sistemas los que están en auge para los investigadores de protocolos electrónicos electorales. Con el aumento de la participación ciudadana en Internet, en la sociedad digital, los usuarios realizan todo tipo de procesos cotidianos a través de la red de forma remota, ya sea interactuar con las entidades estatales o municipales con trámites burocráticos, multas o pagando impuestos, gestionando los recursos familiares o de la empresa con el banco desde casa o el despacho, o incluso compras por Internet o consumición de ocio digital. Con este panorama es cuestión de tiempo que cierto sector de la población demande una actualización de los procesos de votación, igualándolos a las posibilidades de ubicuidad de los que disfrutan el resto de servicios comentados. He aquí donde el voto electrónico remoto tiene que estudiarse si es el candidato ideal para cubrir este nicho o si, por el contrario, los riesgos de seguridad y procedimiento que sus detractores le achacan realmente imposibilitarán este cambio en un corto período de tiempo.

La introducción de este paradigma en el mundo de los procesos electorales plantea para los expertos, por tanto, un conjunto de retos muy importante, tanto desde el punto de vista tecnológico - sobre todo a nivel de seguridad del sistema y privacidad del votante - como a nivel social, ya que estos sistemas electrónicos deben garantizar al votante al menos la misma confianza que la que le proporciona el sistema de voto tradicional, para que se pueda plantear aceptar el cambio.

2.1.2. Verificabilidad vs. Secreto

El voto electrónico es uno de los retos más importantes y complejos del mundo tecnológico hoy en día. Aunque pueda parecer que en otras áreas más modernas hay desarrollos mucho más complejos, el problema del voto electrónico sigue teniendo factores de difícil resolución.

Uno de los retos más complicado de resolver para los desarrolladores de estos protocolos y sistemas es el de la *dualidad Verificabilidad-Secreto*.

Aquí se enfrentan dos requisitos básicos de un sistema de voto electrónico: la posibilidad de un elector de **verificar** que el voto que ha emitido ha sido correctamente incluido en el escrutinio y el derecho fundamental del **secreto** de voto del propio elector.

Con el fin de visualizar el problema, planteo un ejemplo típico.

Para comenzar con el ejemplo, introducimos una serie de actores:

Blanca y Begoña: dos votantes.

Rafael: quiere influenciar el voto de Blanca.

Carnívoros y Herbívoros: las dos opciones entre las que los votantes han de elegir en la Elección.

Blanca tiene intención de votar por los Carnívoros, mientras que Begoña desea votar a los Herbívoros. Por su parte, Rafael tiene un gran interés en que Blanca vote por los Herbívoros.

Como hemos avanzado, en cualquier proceso electoral hay un conflicto entre la verificabilidad y el secreto. Cualquier votante querría verificar que el proceso de su voto ocurre correctamente, desde su inclusión en la urna hasta el preciso conteo en el escrutinio. De forma particular, Blanca quiere verificar que su voto es apropiadamente

escrutado como Carnívoros. No obstante, si Blanca consigue suficiente información como para poder demostrar a Rafael de que votó por los Carnívoros, aparece la amenaza de la compraventa de votos. Sabiendo que el voto emitido es demostrable a un tercero, antes de que Blanca vote, Rafael podría ofrecerle dinero u otros recursos a cambio de que su voto sea para los Herbívoros en vez de para los Carnívoros.

Naturalmente, junto con la amenaza de la compraventa de votos, aparece también la de la coerción. Como Blanca puede mostrar el contenido de su voto a Rafael, puede ser coaccionada por éste para que vote por Herbívoros como él quiere, en lugar de los Carnívoros, como ella pretendía, por miedo a represalias.

Lo que se debe buscar con el voto electrónico es que Blanca consiga la información suficiente para verificar personalmente que su voto a Carnívoros ha sido efectivamente emitido y scrutado como Carnívoros, pero que no consiga la información necesaria como para probar a Juan el contenido de su voto.

Si Blanca vota a Carnívoros y Begoña a Herbívoros, ambas deberían tener la seguridad de que sus votos han sido correctamente incluidos en el escrutinio según sus opciones elegidas. Las dos pueden decirle a Rafael que han votado a Herbívoros, con lo que Blanca estará mintiendo y Begoña dirá la verdad, pero Rafael no notará la diferencia. Quizá, al ver Rafael que no tiene seguridad para incentivar o coartar a Blanca, desista de tratar de comprar su voto (o de coartarlo) y se acabe así con la amenaza.

Hay que arreglar este párrafo.

Resumiendo, es muy complicado conseguir que los Sistemas de Voto sean confiables ya que presentan requisitos de seguridad que chocan entre ellos:

- El sistema debe asegurar la integridad de la elección para que todos los votantes estén convencidos de que los votos se cuentan correctamente.
- El sistema debe asegurar la confidencialidad de los votos para proteger la privacidad del votante, prevenir la venta de votos y para defender a los votantes de ser coartados.

La integridad del sistema es fácil de obtener por medio de un muestreo público de los votos emitidos. Pero esto destruiría automáticamente la confidencialidad

del voto. La confidencialidad se puede obtener a través del voto secreto, pero con ello es muy difícil asegurar la integridad del sistema. Debido a la naturaleza de unas elecciones, la violación de cualquiera de estos requisitos del voto electrónico puede derivar en consecuencias dramáticas. Por tanto, el reto del diseño de un sistema electoral digital resulta en encontrar el punto medio en el que se la integridad del sistema no comprometa el derecho del votante al secreto de su voto.

2.1.3. Requisitos del voto electrónico

Un dogma que deben cumplir los sistemas de voto electrónico es la consigna de aportar al proceso al menos las mismas garantías de seguridad que el sistema tradicional al que está sustituyendo / complementando.

El voto presencial tradicional permite un recuento de la votación una vez acabado el proceso y abierta la urna que contiene los votos físicos.

En el siguiente nivel, lo mismo le ocurre a la ciertos sistemas de voto electrónico que hace uso de urnas digitales pero generan un recibo o papeleta física, que almacenan también como una urna física.

En cuanto al último nivel, el correspondiente al voto electrónico remoto, esto no está tan claro, pues la mayoría de estos sistemas no generan un resguardo físico de los votos electrónicos emitidos, por lo que es complicado pensar en un recuento en caso de fallo o de duda de la autoridad electoral o del propio electorado.

2.1.3.1. Fujioka, Okamoto y Ohta

Según publican *Fujioka, Okamoto y Ohta* [20], un sistema de voto secreto es seguro si cumple con los siguientes requisitos:

- **Completitud (Completeness):** Todos los votos válidos son contados correctamente.
- **Solidez (Soundness):** Un votante deshonesto no puede interrumpir la votación.
- **Privacidad (Privacy):** Todos los votos deben ser secretos.

- **Unicidad (Unreusability):** Ningún votante puede votar dos veces.
- **Elegibilidad (Elegibility):** Nadie que no tenga permitido el voto puede votar.
- **Fiabilidad (Fairness):** Nada debe afectar la votación.
- **Verificabilidad (Verifiability):** Nadie puede falsificar el resultado de la votación.

A estos requisitos básicos, el equipo de Fujioka añade otros seis que considera importantes para la correcta implementación de un sistema de voto electrónico:

- **Robustez (Robustness):** El sistema debe ser capaz de tolerar una cierta cantidad de condiciones de fallas, a la vez que debe ser capaz de manejar y responder a estas situaciones.
- **Verificabilidad Universal (Universal Verifiability):** Cualquier actor debe poder verificar el resultado de las votaciones.
- **Sin recibo (Receipt Freeness):** El votante no necesita una prueba del voto realizado, debe ser incapaz de probar a un tercero el contenido de su voto
- **Incoercibilidad (Incoercibility):** El votante no puede ser coartado por un tercero para que vote por una opción en concreto. Se debe asegurar la libertad del voto.
- **Sin duplicados (Non-Duplication):** Nadie puede duplicar el voto de otra persona.
- **Participación Pública (Public Participation):** La lista de quiénes votaron o quiénes no lo hicieron ha de ser pública.
- **Corrección Privada de Errores (Private Error Correction):** El votante tiene la capacidad de probar que su voto no fue contado correctamente sin tener que revelar qué opción votó.

2.1.3.2. Universidad de Extremadura

A partir de esta primera definición de los requisitos del voto electrónico, muchos equipos de desarrolladores o teóricos de infraestructuras para el voto electrónico han redactado sus propias interpretaciones, aunque suelen ser análogas

a las ofrecidas por Fujioka. Por ejemplo, estas son las propiedades que debe tener un sistema de voto electrónico a través de Internet, según publican desde la Universidad de Extremadura [14] son las siguientes:

- **Universal** Todos los implicados en la toma de una decisión tienen voz y parte en ella, es decir, que todos aquellos ciudadanos que tienen derecho a votar podrán hacerlo a través de las redes telemáticas. Luego constarán unos requerimientos mínimos que permitan a los usuarios realizar sus votos a través de Internet.
- **Libre** Los usuarios que tengan derecho a realizar una votación tendrán total libertad para elegir si ejercen su derecho a través de Internet o por cualquier otro mecanismo dispuesto para este fin. No se podrá obligar a los usuarios a realizar su voto de una determinada forma. Los usuarios del sistema de votación podrán escoger qué votar, cómo votar, e incluso si quieren o no votar. Luego la libertad del ejercicio de la votación estará referida a varios aspectos: libertad para los usuarios que realizan su voto, libertad para la orientación del voto, y libertad de información antes, durante, y después de realizar su voto. No deberán existir restricciones de acceso al sistema de votación, es decir, el sistema de votación deberá ser independiente del sistema operativo que tengan los usuarios o del navegador que éstos utilicen. Tampoco deberán existir restricciones físicas o lógicas que impidan, por ejemplo, a una persona discapacitada ejercer su derecho a votar.
- **Directo** Será el usuario del sistema de votación el que personalmente emita su voto, es decir, éste no podrá delegar su voto en otra persona. El votante deberá tener una implicación personal dentro del proceso de votación. Esto plantea el problema de la autentificación del voto y el votante, es decir, se debe garantizar que quien vota es quien dice ser, que no existen problemas de suplantación de personalidad y, que cuando el votante ejerce su derecho a votar, éste se lleva a cabo. Para solucionar estos problemas de autentificación, los usuarios dispondrán de su propio dispositivo criptográfico, la cual, mediante el uso de claves por parte del usuario permitirá garantizar todo lo anterior. El usuario utilizará las claves y certificados almacenados en su dispositivo junto con las funciones que éste le aporta tanto para registrarse en el sistema de votación, como para proceder al ejercicio del voto. El motivo de separar estos dos procesos es el de asegurar la confidencialidad del voto como se explicará posteriormente.

- **Igual** El sistema de votación electrónico deberá ser igual para todas las personas, aunque podrá tener algunas diferencias, por ejemplo para personas disminuidas. Luego se deberá permitir el acceso a todas las personas que tengan algún tipo de necesidad especial. El sistema deberá ser confiable, es decir, se deberá garantizar que funciona sólo como se prevé que va a funcionar, sin puertas traseras ni trampas ocultas que modifiquen los resultados. Además el sistema deberá ser fiable, es decir, deberá ser capaz de funcionar en condiciones adversas, se recuperará ante fallos, incorporará mecanismos de seguridad,...
- **Secreto** El voto emitido por un usuario sólo podrá ser conocido por él y por la Autoridad encargada del recuento de votos. Para asegurar esta propiedad la fase de votación se divide en dos partes, la autenticación y la votación en sí. El voto emitido por un usuario nunca podrá ser asociado con el usuario que lo emite.

Hasta aquí están las características inherentes a un sistema de votación tradicional, el realizado hasta ahora en cualquier proceso electoral que haya habido en España, por ejemplo. A continuación, añaden una serie de propiedades ligadas al voto electrónico:

- **Autenticación** Sólo se permitirá emitir un voto a aquellos usuarios que estén debidamente autorizados. Para el cumplimiento de este requisito, se requerirá a los usuarios estar en posesión de un certificado digital almacenado en el dispositivo criptográfico. Para asegurar la identidad de los usuarios se deberá crear un censo electrónico de posibles votantes, el cual se deberá ir actualizando no sólo con los votantes que realizan sus votos a través de Internet, sino que además deberá ser actualizado a través de todas las formas posibles de votación. Esto es para evitar que un votante realice su voto en más de una ocasión, por ejemplo, a través de Internet y físicamente en un colegio electoral.
- **Unicidad** A cada usuario con derecho a votar, sólo se le deberá permitir realizar su voto una sola vez. Esto se consigue, como se comentó en el apartado anterior, manteniendo una base de datos totalmente actualizada por los distintos administradores de cada una de las formas de voto permitidas.
- **Integridad** Un voto, una vez que ha sido emitido y registrado, no podrá ser modificado o eliminado por ninguna entidad. El sistema deberá tener me-

canismos que permitan la realización de copias de seguridad, ficheros donde se apunten las operaciones que se realizan y quien la realiza, etc. para solucionar cualquier posible duda acerca de la integridad de un voto.

- **Confidencialidad** El voto realizado por un usuario sólo será conocido por él, es decir, nadie podrá averiguar qué votó un usuario. La entidad encargada del recuento de votos no podrá determinar qué usuario emitió un determinado voto. Tampoco la entidad encargada del registro de los usuarios podrá saber el voto que realiza ese usuario.
- **Fiabilidad** Una vez el voto es emitido, éste queda registrado, y el sistema de votación no perderá ningún voto, aún en el caso de producirse algún fallo en algún dispositivo de votación o comunicaciones ajenos al sistema de voto. Se deberá dar a los usuarios la fiabilidad de que todos los votos, una vez el usuario los ha emitido, son incluidos en el recuento final.
- **Flexibilidad** Para permitir que todos los usuarios puedan emitir sus votos a través de Internet, independientemente del sistema operativo o navegador con el que trabajen o de la discapacidad que tengan. Para emitir un voto a través de Internet sólo será necesario estar en posesión de nuestro dispositivo criptográfico junto con su certificado digital almacenado, para identificar de forma totalmente segura a los usuarios.
- **Comodidad** Los usuarios podrán votar rápidamente a través de Internet, independientemente de sus habilidades o conocimientos informáticos. Para conseguir esta comodidad, pueden ayudar entornos parecidos a las papeletas tradicionales.
- **Ergonomía** Ayuda a los usuarios en el uso del sistema (eficiencia de los diálogos, brevedad de los mensajes, alarmas...), gestión de errores (previniéndolos y corrigiéndolos cuando se presenten), y compatibilidad entre las características personales de los usuarios (memoria, percepción, hábitos, habilidades, edad) y los diálogos del sistema.

2.1.3.3. Estudio holandés

Otra visión acerca de los requisitos inherentes al voto electrónico los podemos encontrar en [5], un artículo holandés acerca del voto electrónico y por Internet en este país. Este artículo enumera una serie de principios fundamentales para

cualquier solución de e-voting basándose en los acordados por el Consejo de Europa [28]. Según estos principios, se debe asegurar que el **sufragio** sea:

Universal: Cualquier persona tiene derecho a votar y a postularse para la Elección (entendiendo la existencia de límites basados en condiciones como la edad o la nacionalidad).

Igualitario: Cada votante puede emitir el mismo número de votos.

Libre: Todo votante tiene el derecho de formarse y expresar su propia opinión libremente, sin ser coaccionado por ninguna influencia exterior.

Secreto: Todo votante tiene el derecho de poder votar de forma individual y secreta.

Directo: Los votos emitidos por los votantes deben ser los que directamente determinen la/s persona/s elegida/s en la votación.

Según el mismo artículo, estos principios fundamentales se traducen en los siguientes requisitos:

Transparencia/Integridad: Asegurar que el público general y los asociados al proceso electoral tienen confianza en la solución implementada.

Voto secreto/privacidad: Proteger el secreto del voto en todas las etapas del proceso de votación.

Unicidad: Asegurar que cada voto emitido es contado y que cada uno es contado tan sólo una vez.

Derecho al voto: Asegurar que sólo aquellos votantes con derecho de voto pueden votar en el proceso.

Verificabilidad/auditoría: El votante debería poder comprobar que su voto ha sido correctamente contado en el escrutinio. Si no lo puede comprobar, al menos auditores independientes deberían poder comprobar la integridad de los resultados de la elección.

Accesibilidad: Garantizar la accesibilidad al proceso del mayor número de personas, especialmente aquellas con algún tipo de discapacidad.

Libertad del votante/resistencia a la coerción: Mantener el derecho del votante a expresar su opinión mediante el voto sin coacción o una influencia externa.

Disponibilidad: Asegurar la disponibilidad del sistema durante el tiempo que tiene lugar la votación.

En el artículo mencionado se realiza una valoración muy interesante de varios sistemas de votación electrónica y por Internet con resultados basados en esta clasificación.

Cerrar elegantemente el capítulo

Pese a que, dependiendo del autor, se pueden enumerar diferentes clasificaciones con los requisitos del voto electrónico, al final se observa que la mayoría de ellos son comunes a casi todas.

Así entre los requisitos básicos vemos que los autores aquí recogidos siempre hablan de *integridad, privacidad, verificabilidad, unicidad, fiabilidad, disponibilidad, derecho de voto* ... Aspectos que debe cumplir todo sistema de votación electrónica para que el proceso pueda ser llevado a cabo con un nivel aceptable de seguridad y confianza por parte de los intervenientes y observadores de la Elección.

2.2. Experiencias de Voto por Internet

En lo referente al voto electrónico hay muchos proyectos llevados a cabo, tanto desde el mundo empresarial como estatal o universitario.

Muchas de ellas se utilizan hoy en día. Se pueden destacar a niveles estatales todas las elecciones en las que se usan urnas electrónicas o máquinas cuenta-votos, como ocurre en países como Venezuela, Estados Unidos, India y muchos más. Incluso hay otros que tienen como prioridad el estudio de la implantación de este tipo de herramientas para sus procesos electorales, como es el caso actual de Argentina. Lo mismo ocurre con muchos proyectos surgidos desde ámbitos académicos o empresariales, donde se desarrollan sistemas que permiten el uso de tecnología para la fase de votación. Incluso algunos permiten el volcado de información de los votos de la urna en el sistema de recuento de voto, pero

una vez la urna ha sido cerrada, no de forma interactiva con el momento en el que el votante introduce su voto en el Sistema.

No obstante, la naturaleza de este proyecto implica que nos centremos en aquellos procesos que utilizan la variante del voto electrónico consistente en el voto por Internet, siendo éste de transmisión al sistema de recuento en el momento en el que se introduce el voto.

En este sentido, en cuanto al estado de la cuestión del voto por Internet, como hemos destacado, la experiencia más ambiciosa es, sin duda, las elecciones que se llevan a cabo en Estonia (2.2.1) que, desde el año 2005, proveen de un sistema de voto por Internet a la totalidad del censo que desee hacer uso del sistema.

Es destacable el desempeño de empresas como la española Scytl, que ha implementado sistemas de voto por Internet para voto desde el extranjero para algunos condados de Estados Unidos, ciertos cantones de Suiza y varias provincias de India, la mayor democracia del mundo (en número de votantes). Otra empresa española, Indra, también tiene soluciones de voto por Internet utilizados para elegir las cúpulas directivas de organismos como la Guardia Civil, universidades como la UAH (Universidad de Alcalá de Henares) o la UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia) e incluso de partidos políticos, como es el caso de la dirección de UPyD (Unión Progreso y Democracia).

Dentro de las soluciones de voto electrónico telemático, es importante el desarrollo que se ha hecho en el voto por Internet.

Según un estudio¹ de un ente holandés, once países han desarrollado pruebas piloto para elecciones a través de voto electrónico por Internet a nivel nacional, aunque cuatro de ellos ya habían abandonado sus proyectos. Los países que quedaban probando de distinta forma soluciones de voto por Internet y que recoge dicho estudio serían Australia, Canadá, Estonia, Francia, India, Noruega y Suiza. Las motivaciones de los países en desarrollar herramientas de votación remota difieren en cada uno de ellos, dependiendo del tipo de votantes al que va dirigido este tipo de votación. Indica como ejemplo el de Francia, motivado por la necesidad de incrementar la participación electoral de los expatriados o el de Estonia, país que ha apostado por un desarrollo tecnológico en la mayoría de entornos gubernamentales, buscando incrementar la participación tanto de los votantes ocasionales como de acercar a los que se suelen abstener.

¹<https://www.jbisa.nl/download/?id=17700076&download=1>

2.2.1. Estonia

Estonia es quizá el ejemplo más destacado en cuanto a la utilización del voto por Internet en elecciones a nivel estatal. Desde el año 2005 lleva usando una solución de voto electrónico remoto no presencial complementando al voto tradicional.

El impacto del voto electrónico sobre el electorado estonio ha ido evolucionando en cada comicio. En el 2005, el primer año en que se comenzó a utilizar, no llegó al 2 % de los votantes los que se decantaron por votar por Internet, mientras que en el 2014 y 2015, este porcentaje superó el 30 % de los sufragistas.

Elección	Tipo	IV^a	% IV-TV^b
2005	Elecciones Locales	9.317	1,90 %
2007	Elecciones Parlamentarias	30.275	5,50 %
2009	Elecciones Parlamento Europeo	58.669	14,70 %
2009	Elecciones Locales	104.413	15,80 %
2011	Elecciones Parlamentarias	140.846	24,30 %
2013	Elecciones Locales	133.808	21,20 %
2014	Elecciones Parlamento Europeo	103.151	31,30 %
2015	Elecciones Parlamentarias	176.491	30,05 %

^a IV: Votantes que votaron a través de Internet.

^b %IV-TV: % de votantes que votaron a través de Internet sobre el total de votantes.

^c Fuente: Comisión Nacional Electoral de Estonia / Vabariigi Valimiskomisjond

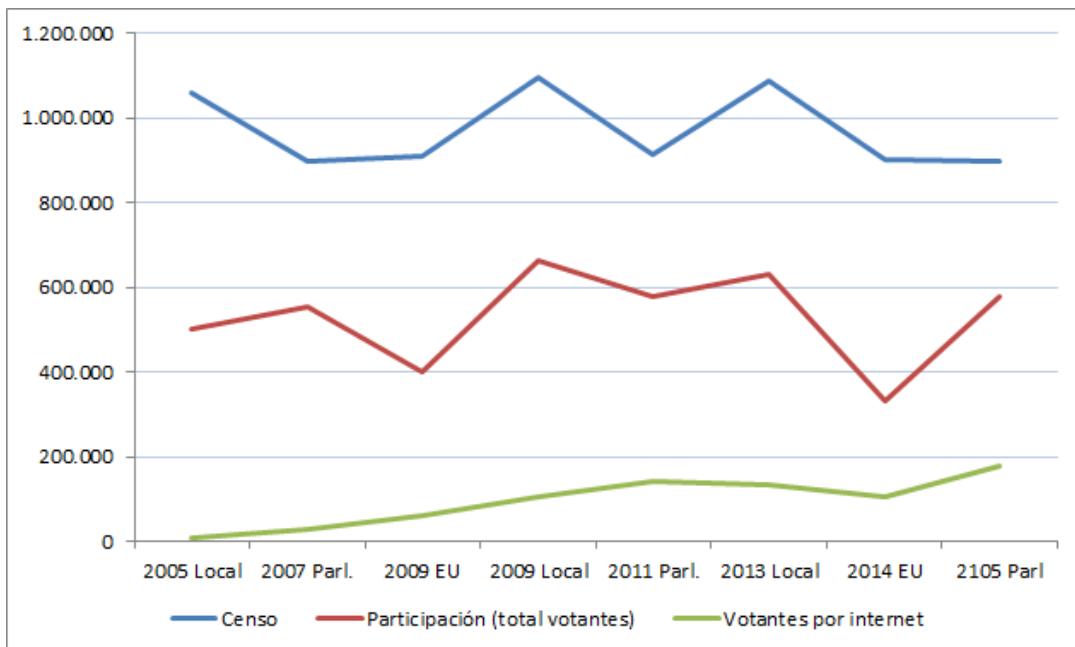
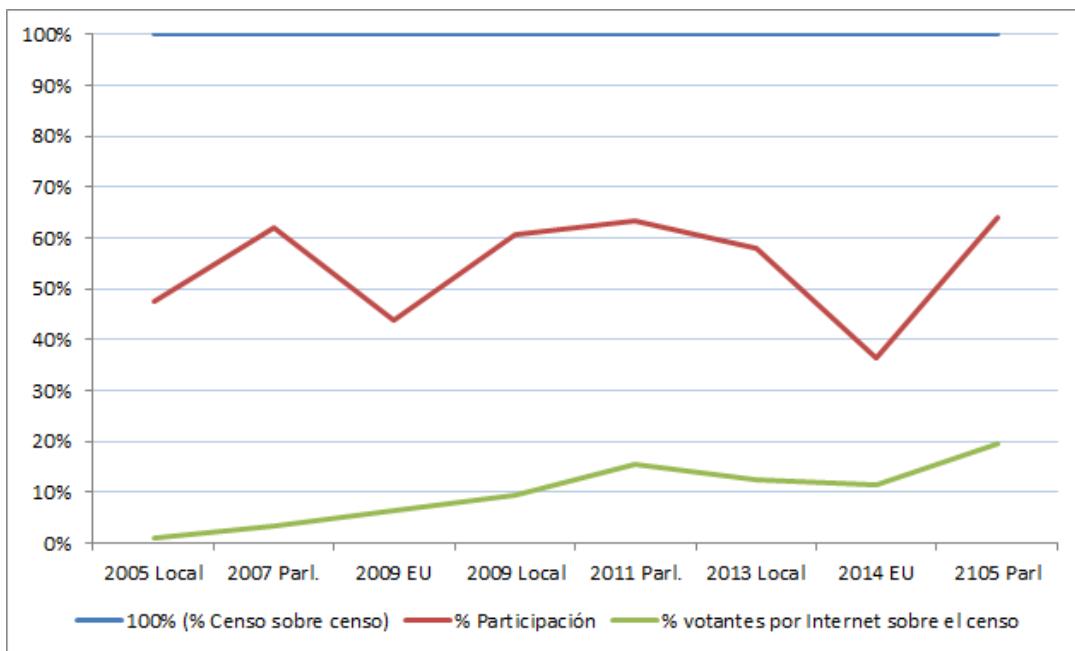
^d <http://www.vvk.ee/voting-methods-in-estonia/engindex/statistics>

Tabla 2.1: Evolución del voto por Internet en Estonia^c

Estonia es el primer estado que utiliza, oficialmente, el voto electrónico remoto por Internet de forma vinculante. Este sistema puesto en práctica en el año 2005 es una parte de un plan de modernización del país báltico. De hecho, previamente a la puesta en producción del sistema electoral, se comenzó a desarrollar en el año 2000 un despliegue técnico importante para la implantación del documento de identidad electrónico, junto con mecanismos de comunicación con la Administración para facilitar los trámites con la misma por parte de los ciudadanos de forma electrónica y remota.

La ley electoral estonia permite a los votantes ejercer su derecho al voto de tres formas:

- a) Voto tradicional. Los votantes pueden acudir a los colegios electorales e introducir su voto en la urna previa identificación del votante por parte de los miembros de la mesa.

Figura 2.3: *Participación histórica de elecciones con i-voting en Estonia.*Figura 2.4: *Histórico: Porcentaje de voto presencial comparado con el i-Voting en Estonia.*

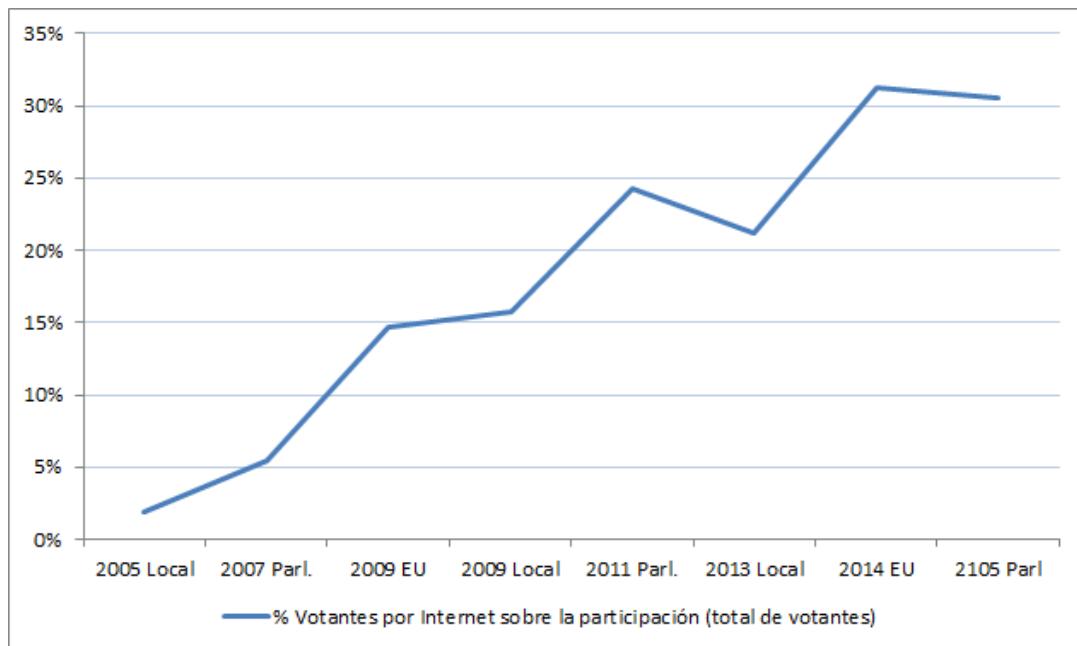


Figura 2.5: Histórico: Porcentaje de voto por Internet frente al total de votos en Estonia.

- b) Voto postal. Los votantes estonios tienen la posibilidad de acudir en unas fechas determinadas anteriores al día electoral a unas Estaciones de Votación, que funcionan de forma análoga a Correos en España, donde pueden entregar el voto en papel y una acreditación que le identifique. Esta Estación se encarga de hacer llegar el voto y la identificación a la mesa o Distrito Electoral donde el votante esté censado.
- c) Voto por Internet. Durante un período de tiempo anterior al día electoral, los votantes tienen la posibilidad de entregar el voto por medio de Internet.

Aunque el votante haya emitido su voto de forma electrónica, la Ley Electoral estonia permite al mismo ejercer su voto de cualquiera de las otras dos formas invalidando su voto electrónico. Es decir, que si una vez votado por Internet, el votante decide votar por correo, éste voto anulará el emitido por Internet. Lo mismo pasaría si decidiese votar presencialmente el día electoral, que su voto emitido por Internet quedaría anulado y fuera del escrutinio. Este hecho es una medida de la Autoridad Electoral para proteger a los votantes frente a la coerción, proveyendo de un mecanismo por el cual un votante que haya elegido una formación determinada por presiones de terceros podría libremente cambiar la dirección de su voto una vez emitido el primero.

Son requisitos fundamentales de este sistema de voto electrónico remoto la

seguridad, confiabilidad y la precisión, así como proveer de mecanismos eficaces contra la coerción. Otra necesidad importante del sistema es su acceso, que debe ser prácticamente universal, lo cual implica que ha de ser accesible y sencillo de entender para los usuarios, además de que debe funcionar en la mayoría de las plataformas tecnológicas.

Hay una serie de puntos, recogidos en [31], que consiguen que el sistema satisfaga tales requisitos:

1. Uso de ID-cards o Mobile ID para la identificación de los votantes.
2. Un votante puede emitir cualquier número de votos durante el periodo habilitado para la votación electrónica. El último voto enviado será el único que cuente en el escrutinio. No obstante, si el votante se encuentra bajo algún tipo de coerción, siempre podrá volver a votar más adelante (cuando no ejerzan presión sobre su decisión) y este último será el que cuente. Así se intenta minimizar el riesgo de la coacción.
3. Prioridad del voto tradicional. Si el votante ejerce su derecho al voto de forma presencial, cualquier voto que hubiese emitido de forma electrónica será cancelado y no se contará en el escrutinio.
4. Todos los servidores en el sistema de voto son seguros y siempre estarán bajo monitorización durante el periodo de la votación.
5. El servidor de almacenamiento de voto está detrás de un firewall. Nadie puede acceder a este servidor desde Internet.
6. El servidor de conteo de votos está offline, sin conexión a Internet y asegurado por medio de clave privada compartida.
7. Todas las comunicaciones a través de Internet usan cifrado SSL.
8. El cifrado y la firma digital usan un mecanismo de cifrado RSA.

***** EXPLICAR UN POCO EL FUNCIONAMIENTO Y ANALIZARLO ***** SEGÚN BELLEBONI, EN SUS CONCLUSIONES: - Interesante por ser una elección a nivel nacional y vinculante. - Aceptación nacional, con n° votantes en tendencia creciente y dando validez a los votos emitidos por este medio. Debilidades: - No uso de mecanismos seguros que garanticen la protección del derecho a voto secreto. - El voto no está protegido por mecanismos de firma ciega, anonimizadores, ni mecanismos equivalentes (y se conserva de 4 a 10 días almacenado junto a la identificación del votante), sino que traslada al sistema por Internet las debilidades ya existentes en el voto tradicional (¿?) *****

La importancia que tiene el sistema de voto utilizado en Estonia radica en el hecho de que provee un mecanismo de voto por Internet a un potencial de votantes consistente en el 100 % de la población con derecho de voto de un estado

democrático. Hasta el momento de su implantación, esto no ocurría. Se daban casos en los que se proporcionaba un sistema electrónico remoto a diversos espectros de la población, como podían ser los residentes en el extranjero, los militares en misiones activas o los focos de posibles proyectos pilotos.

Es destacable que, con el objetivo de alcanzar a la totalidad de la población, incluso, el propio estado estonio aumentara el desarrollo de infraestructura tecnológica en el país para intentar reducir la brecha digital de sus habitantes, tratando de proveer el acceso a Internet a la mayor parte del país. Igualmente importante fueron los esfuerzos por la certificación digital, teniendo como punto esencial la implantación del documento nacional de identidad electrónico para la totalidad de la población.

La mayoría de los estados no pueden implantar unas elecciones como las llevadas a cabo en Estonia por diversos motivos, véase el miedo a la falta de transparencia, fraude, logística o, en muchos casos, ilegalidad con respecto a las leyes electorales actuales.

En diversos países se ha logrado implementar sistemas reales de votación deslocalizada por Internet en varios de sus territorios, alternativamente y al mismo nivel que el sistema tradicional presencial. Un ejemplo veremos que es Suiza con los proyectos de varios de sus cantones. No es comparable a la experiencia estonia, pues cada cantón se rige de forma diferente y son diferentes empresas las que realizan los desarrollos del sistema independientemente del resto, además de que no todos los cantones han implementado estos sistemas remotos.

INTERESANTE – <http://elecciones.smartmatic.com/estonia-y-el-voto-por-internet/>

2.2.2. Noruega

¿Hay que hablar de Noruega?

2.2.3. Suiza

El estado suizo se divide administrativamente en cantones. Estos cantones son los responsables de la celebración de procesos electorales en sus territorios. Con esto, varios de ellos, impulsados por el Estado, han dedicado mucho

	SISTEMA DE VOTACIÓN	
	ESTONIA	NORUEGA
Identificación digital de votantes	•••	••
Protección frente a la suplantación de votantes	••	••
Usabilidad de la interfaz de votante	•	•
Seguridad criptográfica de la información intercambiada	•••	•••
Protección frente a ruptura del secreto del voto por una sola entidad	•••	••
Protección frente a ruptura del secreto del voto por colusión entre entidades	•	•
Protección frente a contabilización indebida de votos	••	••
Protección frente a denegación arbitraria de derecho a voto	•••	•••

^a Fuente: Ponencia *Posibilidades del voto telemático en la democracia digital*, por Justo Carracedo^b

^b <http://www.criptored.upm.es/descarga/ConferenciaJustoCarracedoTASSI2014.pdf>

Tabla 2.2: Comparativa de la evaluación de los sistemas de Votos por Internet de Estonia y Noruega conforme al criterio de Seguridad de la Información^a

	SISTEMA DE VOTACIÓN	
	ESTONIA	NORUEGA
Identificación robusta de gestores del sistema	•••	•••
Verificación individual de voto	•	•
Verificabilidad de resultados	•	••
Protección frente a la coacción	•	•
Protección del sistema frente a falsas acusaciones	••	••
Capacidad de supervisión de los intervenidores	••	••
Uso de software público	•	•••
Auditabilidad del sistema	••	••

^a Fuente: Ponencia *Posibilidades del voto telemático en la democracia digital*, por Justo Carracedo^b

^b <http://www.criptored.upm.es/descarga/ConferenciaJustoCarracedoTASSI2014.pdf>

Tabla 2.3: Comparativa de la evaluación de los sistemas de Votos por Internet de Estonia y Noruega conforme a los criterios de verificación, auditoría y procedimiento^a

esfuerzo al estudio y desarrollo del voto por Internet para poder implementarlo de forma general.

Con el objetivo de la implantación del voto electrónico, el estado suizo marcó tres fases de actuación como línea a seguir para la resolución de estudios y pruebas pilotos previas a una futura utilización de este sistema con garantías de viabilidad y seguridad. [6]

En una primera fase, de 2000 a 2002, se realizaron una serie de estudios e investigaciones que derivaron en la creación de programas piloto de voto electrónico.

De 2002 a 2006, tres cantones - Neuchatel, Ginebra y Zurich, comenzaron a realizar pruebas piloto que mostraron que era posible implantar el voto electrónico remoto en Suiza, lo cual acentuó el apoyo del Gobierno en el proyecto.

A partir de 2006, las pruebas piloto se expandieron a otros cantones, utilizando estos los sistemas desarrollados por el cantón de Zurich o el de Ginebra.

En 2010 ya eran 12 los cantones que realizaron pruebas pilotos en los comicios del 28 de noviembre. El número de votantes que podían votar de forma electrónica ascendía a 193.236 personas aunque, sin embargo, tan sólo 28.192, no llegó al 15 %, lo hicieron de esta forma.

Sin embargo, en 2011, el Gobierno Federal

seguir?...

2.2.4. UNED

Indra

2.2.5. Universidad del País Vasco

(Scytel)

2.2.6. Escuela Politécnica Superior - Universidad San Pablo CEU

En la Escuela Politécnica Superior de la Universidad San Pablo-CEU ya se realizó una elección por medio de voto electrónico. Sucedió en 2005, cuando en una colaboración entre la Universidad y la multinacional española Indra se celebró la primera elección de delegados de clase a través de voto electrónico con motivo del Día de Internet, celebrado el 25 de octubre del mismo año.

En esta experiencia, más de 600 alumnos de los últimos cursos de la Escuela Politécnica eligieron a sus delegados de clase a través de este sistema.

En la fecha de la elección, cada alumno emitió su voto a través de un nombre de usuario y una clave personal. Por motivos divulgativos, los organizadores de la elección determinaron que una parte del alumnado censado realizará la votación desde un aula de votación concreta, perteneciente al centro y adecuada para ello; mientras que el resto del alumnado debía elegir sus representantes desde algún equipo personal fuera del dominio de la Universidad.

Para que estas elecciones a través de Internet pudiesen llevarse a cabo la Universidad San Pablo-CEU tuvo que adaptar su normativa de régimen interno, pues la que tenía originalmente establecía únicamente la posibilidad de un sistema de voto presencial.

2.2.7. Universidad de Lovaina

2.3. Proyectos varios de voto por Internet

En esta sección introducimos algunos proyectos de voto por Internet que se han estudiado para la elaboración de este PFC y que han resultado ser interesantes y con propuestas a tener en cuenta para llevar a cabo proyectos de índole electoral.

No obstante, una vez que se decidió que el sistema debe cumplir con la carac-

terística de ser un sistema de votación auditabile punto a punto (E2E Auditabile Voting System), estos proyectos fueron descartados como códigos base de la adaptación al sistema a implementar para la EPS.

2.3.1. Votescript

Votescript es voto electrónico remoto por medio de locales de votación. Está bien que expliquemos cómo se implementa la parte telemática, que es lo que afecta al PFC.

El esquema de votación telemática Votescript tiene su origen en el proyecto de investigación *Votación Electrónica Segura basada en criptografía avanzada* [8], denominación de la cual adquiere el nombre, Votescript. Este proyecto es una colaboración entre el grupo de la Universidad Politécnica y la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre - Real Casa de la Moneda (una de las principales entidades emisoras de certificados digitales de España).

A partir de este proyecto de investigación, los autores publican diversos artículos sobre el funcionamiento y alcance de los resultados obtenidos. En este apartado, nos basamos en la versión más actual del proyecto, desarrollado en su tesis doctoral [35] por una de las autoras del original, la Dra. Emilia Pérez Belleboni.

En esta tesis, además de analizar el estado del voto telemático, teniendo en consideración, esquemas, problemas y riesgos, realiza un estudio de varias implementaciones reales a nivel nacional, como por ejemplo un extenso análisis del procedimiento electoral electrónico de Estonia (2.2.1). No obstante, a partir de estos análisis, desarrolla el esquema que proponen, con base en el Votescript original, evolucionándolo para solucionar las debilidades del resto de sistemas y para su aplicación en la elección de representantes para el Parlamento Europeo.

En contraposición a los sistemas que estudia en la tesis, el sistema Votescript centra sus esfuerzos en la superación de debilidades identificadas en los anteriores, en especial en la fase de identificación del votante. En elecciones como las del Parlamento Europeo, una entidad supranacional, es muy importante que la identificación de los votantes se pueda realizar electrónicamente de una forma altamente confiable, pues deben ser válidas no sólo en el país del propio votante, sino en el resto de países europeos.

El esquema que propone Votescript define la necesidad de unos puntos es-

pecíficos de votación, centros donde han de acudir los votantes a votar telemáticamente. En estos centros se implantarían los medios y equipamientos tecnológicos para que el votante emita su voto en un entorno controlado.

Según su documentación, las bases del sistema se pueden adecuar sin problemas a un *sistema abierto* (voto por Internet), pero el precio que implica la comodidad de los votantes de poder votar sin necesidad de trasladarse a locales oficiales incurre en un incremento de los riesgos de coerción.

2.3.2. Online E-Voting Prototype with PTC Web Services

Este proyecto, realizado por Brett Wilson y continuado por Hakan Evecek para la Universidad *****. El sistema diseñado consiste en un sistema web que comunica los diferentes módulos del mismo a través de servicios webs. El esquema criptográfico utilizado para cumplir con los requisitos básicos del voto electrónico se basa en el uso del criptosistema de Paillier. Este criptosistema, desarrollado en 1999 consiste en un algoritmo probabilístico asimétrico de criptografía de clave pública. Básicamente, permite que un mensaje emitido pueda ser cifrado en

Nombre
de la
Universi-
dad!!

ME HE QUEDADO POR AQUÍ

Las razones por las que eligen este precepto en el diseño del sistema es para poder reducir el problema derivado de la coerción del votante. Tal y como apuntan en su documentación, la justificación a esta decisión de diseño del esquema se debe a que para

SELES, SEVI y el americano hay que moverlos. NO son experiencias de voto. Son proyectos que se han diseñado pero no se han llevado a cabo en una elección real. No deberían ir aquí. Habría que ponerlos con tecnologías existentes entre las que decidir, junto a Helios Voting y Ágora Voting.

Lo que quizás sí que habría que hablar, o no, hay que decidirlo es de las elecciones que se han hecho utilizando Helios (Universidad de Louven, Harvard) y Ágora (Podemos), pues son experiencias reales con sistemas que me planteo utilizar como base.

2.3.3. SELES

SELES

2.3.4. SEVI

El Sistema Electrónico de Votación por Internet (SEVI) [26] es una propuesta de sistema software de voto electrónico para reemplazar el canal que constituye el correo postal certificado en el proceso electoral de México.

La idea del sistema es que los ciudadanos con derecho a voto que no puedan hacer uso del mismo el día del proceso tengan un canal de votación disponible a través de Internet. Este canal sustituiría al proporcionado por el correo postal, por lo que debe asegurar, como mínimo, los mismos servicios que ya proporcionaba éste en procesos electorales anteriores.

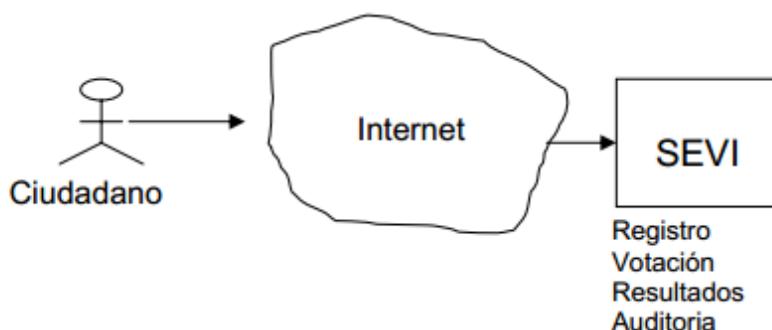


Fig. 4.1 Primera aproximación de funcionalidad de SEVI

Figura 2.6: Primera aproximación de funcionalidad de SEVI

El esquema de votación utilizado en SEVI divide el proceso electoral en cuatro fases:

Quitar el pie que viene implícito en la imagen!!!

- Registro
- Votación
- Resultados
- Auditoría

Al igual que en SELES (2.3.3), el protocolo de seguridad en el que se basa SEVI es una variante del de Lin-Hwang-Chang, el cual se compone de tres fases que cubren la seguridad del esquema en los módulos de votación y generación de resultados. También con este protocolo, el acuse de recibo dado a los votantes sirve para cumplir con los requisitos de auditoría. Otra de las necesidades

resueltas es la de la democracia del proceso, pues el hecho de que se puedan identificar los votantes no honestos al emitir el voto aumenta la confianza en el proceso.

No obstante el protocolo de seguridad respalda la mayor parte de la interacción con el sistema, no cubre la fase de registro. Precisamente esta es la fase con la que comienza el sistema y donde se basa parte de la suposición de honestidad esperada por el protocolo para el resto del proceso. Para resolver el problema, en SEVI optan por establecer un canal seguro entre la máquina cliente y la máquina servidor a través de un protocolo de transferencia segura SSL (Secure Sockets Layer)

2.3.5. Civitas

<http://www.cs.cornell.edu/projects/civitas/> Alternativa a Helios y Ágora, hay que moverlo a otro capítulo.

Civitas is a new, secure voting system. Civitas is the first voting system implementation that allows voters to vote securely from the remote client of their choice, while provably providing universal verifiability, voter verifiability, anonymity, and coercion resistance. Civitas scales up to a large number of voters, with a low marginal computational cost per voter.

2.4. Proyectos de Sistemas de Votación Auditables Punto a Punto - E2E Auditable Voting Systems

La sección para E2E está bien si tenemos a Helios y Ágora, pero si hablamos de Civitas, SELES, SEVI y la del americano, quizá tenga que ser una subsección de desarrollos existentes de Voto por Internet. Requiere valoración.

Una propiedad bastante útil para el desarrollo de esquemas para votación por Internet es la llamada **verificabilidad punto a punto** (o punta a cabo según otros autores hispanohablantes) (en la literatura inglesa: end-to-end verifiability; E2E-verifiability). Con ella se puede solucionar el problema de la necesidad de confiar en el proceso que recoge, almacena y cuenta los votos.

Se considera a Josh Benaloh [3] como el precursor del concepto de verificabilidad E2E. Según su propia definición del término, se considera que los requisitos de un sistema completamente verifiable E2E son [3, 16, 40]:

En [16] se recoge un resumen sobre sistemas E2E del cual se puede extraer

que los sistemas utilizados para las votaciones en Estonia (2.2.1) y en Noruega (2.2.2) son casi completamente E2E verificables.

1. **Verificabilidad individual:** los votantes pueden comprobar que sus votos se han registrado con la opción que han elegido.
2. **Verificabilidad universal:** Cualquiera puede comprobar que todos los votos han sido escrutados con precisión.

Para cumplir el requisito de la verificabilidad individual, el sistema estonio (2.2.1) se apoya en una app para smartphones que gestiona la verificación del voto, mientras que en la solución noruega (2.2.2) apuestan por un sistema de retorno de código por SMS. A través de ambos protocolos, se facilita al votante una herramienta con la cual asegurarse de que su voto ha sido correctamente incluido en la votación.

Los problemas para satisfacer los requisitos de Benaloh aparecen cuando se estudian las herramientas para cumplir con la verificabilidad universal. El método tradicional para garantizar este requisito es utilizar las pruebas de conocimiento zero (2.5.3,2.6.1). Con estas pruebas se trata de convencer a un verificador de que el proceso se ha llevado a cabo correctamente con una alta probabilidad, sin necesidad de que el verificador tenga conocimiento del contenido de los votos incluidos en la elección. En los sistemas implementados en Estonia y Noruega, aunque parecen tener herramientas que incluyen estas pruebas de conocimiento nulo en todas las etapas del proceso, según algunos informes postelectorales [9], esto no ocurría en la totalidad del proceso.

Según estos mismos informes [9], un ejemplo de sistema electoral por Internet E2E-verificable es Helios Voting (2.4.3), del que dicen que es un reconocido “estándar en verificabilidad de voto por Internet”. Las bonanzas de este sistema es que proporciona al proceso todas las garantías que aporta la verificabilidad E2E, como la capacidad de observar pruebas de conocimiento cero no interactivas que verifican que cada voto fue incluido correctamente y que el escrutinio completo fue computado con precisión. No obstante, hay que remarcar que, como su propio desarrollador indica, Helios es un sistema pensado en elecciones con bajo riesgo de coerción, lo cual no es válido para elecciones nacionales como el modelo estonio o noruego.

Las garantías que ofrecen los esquemas de verificabilidad E2E eliminan la necesidad de los votantes de confiar tanto en los propios clientes (dispositivos,

navegadores, sistemas operativos) que utilizan para votar, como los servidores y los trabajadores oficiales que administran los sistemas asociados a la recepción, descifrado y conteo de votos, que son los pilares críticos en los que se basa un sistema de voto por Internet.. Con esta perspectiva de relajada confianza en los dispositivos clientes, se torna como un buen protocolo para el voto por Internet sin locales habilitados. Se debe a que en este marco altamente distribuido, la votación se realiza desde entornos no controlados por el sistema, con lo que hay un alto riesgo de amenazas, pero la verificabilidad E2E se encarga de demostrar la invariabilidad del voto emitido frente al escrutado, por lo que minimiza varios de los riesgos inherentes a los clientes no controlados. (Obvia comentar que sigue habiendo bastantes amenazas que este medio no va a tratar y tendrán que ser enfrentadas con otras herramientas.)

Falta decir el porqué!! Por qué se olvidan los votantes de la amenaza? pues porque el E2E consigue que se demuestre la invariabilidad del voto emitido frente al contado.E2E

2.4.1. ADDER

ADDER [25] se define como un sistema de voto electrónico basado en Internet, libre y de código abierto. Desarrollado por la Universidad de Connecticut (EEUU) en 2006, supone una plataforma de eVoting completamente funcional con una serie de características de seguridad como robustez, privacidad del voto, auditabilidad y verificabilidad.

Los desarrolladores de ADDER dividen el voto por Internet en 3 escenarios:

Remoto En el escenario del voto por Internet remoto, un actor diferente a la autoridad electoral, ya sea el votante o un tercero, es el que tiene el control sobre el cliente de voto y el entorno operativo.

Kiosko En el escenario del voto por Internet en modo kiosko, el cliente de voto puede ser instalado por las autoridades de la elección, pero entorno de la votación está fuera de su control.

Cabina de voto En este escenario, las autoridades electorales tienen control tanto del cliente de voto como del entorno en el que se lleva a cabo.

ADDER fue diseñado para el primero de los escenarios, el voto telemático remoto, pero dependiendo de los requisitos de seguridad, es adaptable a los otros dos. Además, es un sistema capaz de llevar a cabo elecciones tanto a pequeña como a gran escala.

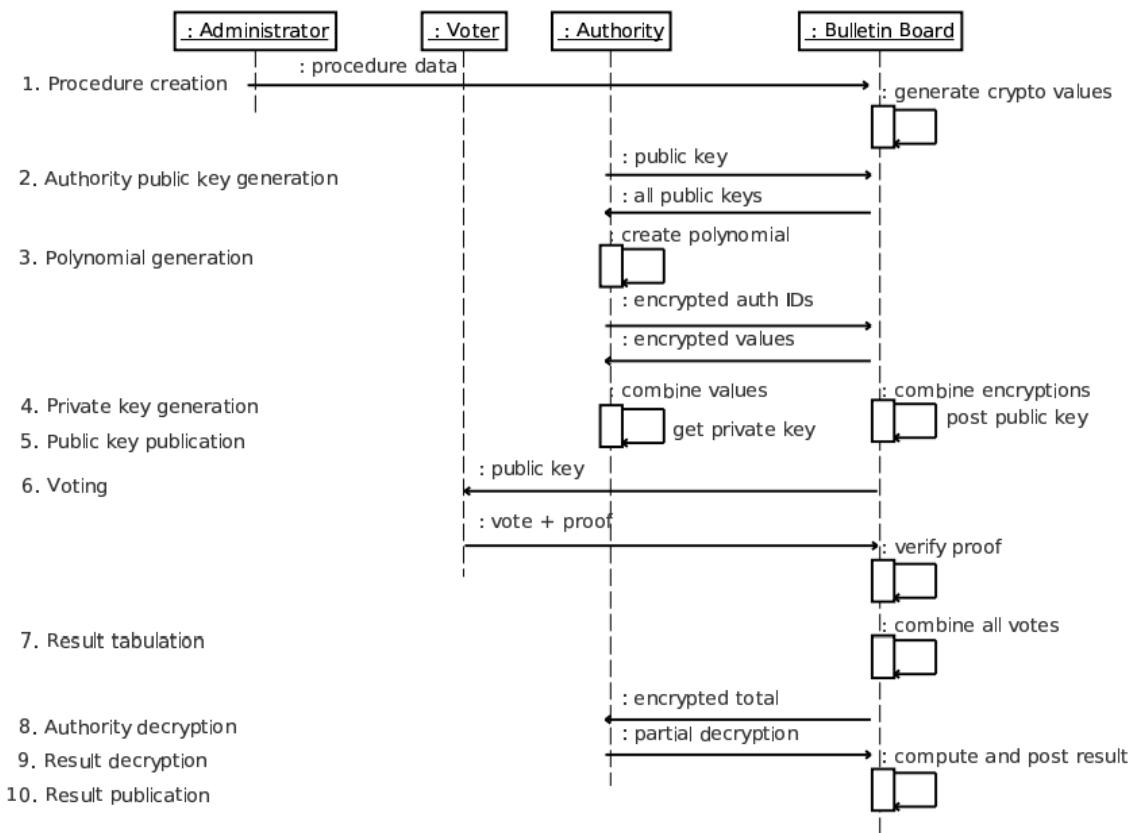


Figura 2.7: *Diagrama de secuencia del procedimiento para una elección con ADDER [25].*

— System overview — El procedimiento del proceso electoral comienza permitiendo al administrador del mismo alimentar al sistema con la lista de usuarios (votantes y autoridades) y de candidatos. Las autoridades ingresan al sistema y participan en el protocolo de generación de claves criptográficas. Aquí, se genera una clave pública para el sistema y claves privadas únicas para cada una de las autoridades. Cada votante se loguea y descarga la clave pública del sistema, la cual usa para cifrar el voto. Este voto cifrado se guarda en un área de almacenamiento público reservada específicamente para el votante. Cuando el período de votación finaliza, el servidor cuenta los votos y publica el resultado encriptado. A continuación, las autoridades proveen cierta información para decodificar, basada en el resultado encriptado y sus claves privadas. Cuando se consigue suficiente de esta información, el servidor combina las piezas individuales para componer el resultado electoral, que es publicado. El sistema se implementa con una arquitectura basada en un tablón de anuncios, un servidor de autenticación (*gatekeeper*) y un cliente (puede ser tanto un programa de escritorio como un applet de Java).

Aquí va la imagen de la arquitectura de ADDER.

Los objetivos que persigue el sistema ADDER son:

Transparencia Toda la información del tablón de anuncios es pública y puede ser consultada por cualquier observador. Aquí se incluyen votos cifrados, claves públicas y escrutinios.

Verificabilidad universal Cualquier resultado electoral obtenido por el sistema debería ser verificado por cualquier observador. A través de los logs y trazas del sistema se puede realizar una auditoría de cualquiera de los procesos.

Privacidad Todos los votantes pueden confiar en que sus votos se mantienen secretos. Sólo el recuento es accesible al público.

Confianza distribuida Cada procedimiento del proceso electoral está supervisado por varias autoridades. El recuento no puede llevarse a cabo sin la cooperación de un determinado número de autoridades.

Soluciones propuestas por ADDER:

1. *Autenticación de usuarios.* Para la autenticación de usuarios, ADDER emplea un sistema análogo a Kerberos que denominan *gatekeeper* (guardián de la puerta).

(...)

2. *Privacidad del voto.* Para contrarrestar el conflicto entre privacidad del voto y verificabilidad universal y la necesidad de acceso al contenido del voto para asegurar el correcto conteo, el sistema utiliza técnicas de cifrado homomórfico.

3. *Verificabilidad universal.* Para cumplir con este requisito, el sistema se apoya en un tablón de anuncios, en el que se publica información relevante al proceso. Junto al sistema, se han implementado una serie de herramientas libres y de código abierto que permiten hacer uso de los datos publicados en el tablón y realizar una serie de tareas:

a) *Recuento de los votos encriptados.* Gracias a las propiedades del cifrado homomórfico, no necesita usar claves privadas para contar los

votos, pues no es necesario que los descifre para realizar el recuento. El programa puede repetir el proceso ejecutado en el servidor.

- b) *Verificación de todas las pruebas.* Cada votante puede comprobar la pruebas de validación de su voto.
- c) *Descifrado del recuento final.* Una vez que todas las autoridades han terminado sus descifrados parciales, la suite de verificación recalcula los coeficientes de Lagrange y desencripta la suma final.
- d) *Verificación del hash.*

esta
no es-
tá muy
bien ex-
plicado

4. Verificabilidad del votante.

2.4.2. Ágora Ciudadana - Ágora Voting

Editar lo que está escrito en temp.tex sobre Ágora Voting. Ya no son Software Libre...

Comentar que Ágora Voting dejó de ser un proyecto activo y pasó de software libre a ser una plataforma comercial de voto por Internet llamada nVote. Está implementada en Python y tiene bastantes funcionalidades comunes con Helios Voting.

2.4.3. Helios

Helios es un sistema de voto por Internet cuyos desarrolladores consideran que es el primer sistema de voto con auditoría abierta (open-audit) basado en web. Actualmente es un proyecto en desarrollo, funcional y públicamente accesible. Cualquier organismo interesado puede descargar el código fuente, configurar un proceso electoral y llevar a término la elección, junto con que cualquier observador puede auditar todo el proceso.

Este proyecto es apropiado para realizar procesos electorales para organismos que necesiten que estos sean confiables y con voto secreto, eso sí, siempre que los comicios se celebren en un ambiente en el que la coerción del voto no sea una amenaza. Este detalle es importante, ya que muestra una de las *debilidades* de esta implementación con respecto a un proceso electoral de gran escala.

Helios trata de ser un sistema de voto por Internet simple comparado con otros protocolos criptográficos, centrándose en la *auditabilidad pública* como elemento diferencial. Con esta propiedad, cualquier organismo puede apoyarse en Helios para llevar a cabo la elección y, aunque resultase que Helios estuviera corrupto, la integridad de la elección puede ser verificada por los observadores.

El protocolo de voto de Helios se basa en la aproximación de emisión de voto de Benaloh y en la mixnet de Sako-Killian. [2]

[Ver una descripción de Helios v4 en \[40\]](#)

[Recuperar lo de Helios de temp.tex.](#)

Primitivas criptográficas en Helios: <https://securewww.esat.kuleuven.be/cosic/publications/thesis-249.pdf>

- ElGamal
- Homomorphic encryption
- Threshold Encryption (+Secret Sharing)

la siguiente info para analizar está sacada de <https://eprint.iacr.org/2015/942.pdf>

2.4.4. Comparación Ágora - Helios

En la tesis de Codina Lligoña [13], el autor realiza un estudio de diversos sistemas de votación, entre ellos Ágora Voting (en su versión agora-ciudadana 2.0) y Helios 4.

Entre las múltiples características que valora, recoge información acerca de la interfaz, licencia, requisitos de voto electrónico, antecedentes y comunidad de soporte del proyecto.

Los resultados de la comparativa los resume en la tabla 2.4, en la cual los valores van desde el 0 (valoración negativa) al 2 (valoración positiva).

En el estudio, el autor divide las valoraciones en dos, las correspondientes al nivel de desarrollo de los proyectos y a las características de seguridad.

En las primeras, da una mejor valoración al proyecto Ágora Voting. Sin embargo, en el segundo grupo, el que se correspondería con la mayoría de los requi-

Criterio	agora-ciudadana 2.0	Helios 4
Especificaciones IMI	2	2
Interfaces	2	2
Licencia	2	2
Redes Sociales	2	2
e-Voting (Seguridad)	1,04	1,46
Elegibility	1,75	1,5
Democracy	0,33	0,33
Privacy	0,85	1,92
Verifiability	0,54	1,54
Fairness	1,33	1,4
Robustness	0,67	1,67
Coercion-Resistance	1	1
Receipt-Freeness	2	2
Correctness	0,88	1,75
Métodos de votación	2	2
Desarrollo	1,75	1,38
Antecedentes del proyecto	1,75	1,75
Actividad del proyecto	2	1,75
Gobierno del proyecto	1,5	1,25
Nivel de industrialización del proyecto	1,75	0,75

Tabla 2.4: *Comparativa Ágora - Helios, por Codina Lligoña [13]*

sitos inherentes al voto electrónico enunciadas por diferentes autores, la mejor nota se la lleva el proyecto Helios Voting, más correcto desde el punto de vista académico y de la seguridad en el voto remoto.

Según observa, Helios supera a Ágora Voting en estas características porque fue directamente diseñado teniéndolas en cuenta, por lo que desde el origen toda la información se almacena cifrada y existen procedimientos de auditoría, cumpliendo con los requisitos de Privacidad y Verificabilidad del voto.

Destaca que en ambos sistemas es posible emitir más de un voto por votante, aunque sólo uno de ellos será contado.

2.5. Primitivas criptográficas

Dentro de los retos tecnológicos que propone el voto electrónico, uno de los más importantes es la seguridad. Para poder implementar un sistema seguro que pueda soportar toda la infraestructura necesaria para poder poner en marcha un

sistema de voto electrónico confiable hay que hacer uso de herramientas que sean capaces de asegurar las comunicaciones y el secreto de estas. Es en este escenario donde la criptografía es el núcleo de la solución.

Los requerimientos que se tratan de satisfacer con el uso de la criptografía son [29]:

- Privacidad del voto
- Autenticación del votante
- Integridad de la elección

PRIMITIVAS CRIPTOGRÁFICAS O ESQUEMAS DE VOTO ELECTRÓNICO ???

EL TEMA ES QUE EXISTEN ESTAS PRIMITIVAS BÁSICAS Y LUEGO LOS ESQUEMAS SE BASAN EN ELLAS PARA SER DISEÑADOS

Antes de entrar en los diferentes esquemas de voto electrónico (2.6), introducimos una serie de primitivas criptográficas que se utilizan en ellos.

- **Primitivas** Operaciones matemáticas, usadas como bloques constructores en la realización de esquemas. Su caracterización depende de los problemas matemáticos que sustentan su uso criptográfico. Ej: DES, RSA.
- **Esquemas** Combinación de primitivas y métodos adicionales para la realización de tareas criptográficas como la firma y el cifrado digital. Ej: DES-CBC-PKCS5Padding; RSA-OAQEP-MGF1-SHA1
- **Protocolos** Secuencias de operaciones, a realizar por dos o más entidades, que contienen esquemas y primitivas con el propósito de dotar a una aplicación de características de seguridad. Ej: TLS con

2.5.1. Firma ciega

Los protocolos criptográficos de firma ciega se dan lugar entre dos agentes, un usuario U y un firmante F de forma que F firma digitalmente una serie de datos comunicados por U sin conocer el contenido de estos.

El objetivo de este tipo de protocolos es proporcionar una serie de datos firmados cuyo contenido solamente sea conocido por el actor que envía, siendo completamente desconocidos para el actor que los firma.

Los protocolos de firma ciega se basan en dos componentes [7]:

En principio es una explicación matemática del protocolo... ¿Merece la pena?

1. Un protocolo de firma digital. Desarrollado por el actor F, quien es el prestador del servicio de firma. De tal forma, $S(m)$ es la notación de la firma digital del mensaje m .
2. Dos funciones f y g , conocidas únicamente por el usuario U, de forma que

$$g(S(f(m))) = S(m)$$

La función f se denomina *función de ocultación o de opacidad*. La función g es la *función de recuperación*.

2.5.2. Secreto compartido

Los protocolos criptográficos de secreto compartido dividen un mensaje (secreto) determinado en diferentes fragmentos que se reparten entre los participantes de la comunicación. El reparto de información consiste en los siguientes preceptos:

1. El mensaje (secreto) original únicamente puede ser reconstruido por un cierto grupo de participantes autorizados.
2. Los participantes no autorizados no pueden obtener información sobre el contenido del mensaje original.

2.5.3. Pruebas de conocimiento nulo

Los protocolos basados en pruebas de conocimiento cero o nulo son protocolos criptográficos que se basan en la necesidad de una de las partes en poder demostrar a otra que un enunciado es cierto sin revelar nada más que la veracidad del mismo. Un sencillo ejemplo para entender el concepto de este tipo de protocolos lo encontramos en una publicación de Pablo Della Paolera, astrónomo de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina), en su blog personal [15]. En ella explica que se puede demostrar que se enuncia algo correctamente sin necesidad de demostrar por qué. Basándonos en el ejemplo publicado, supongamos dos actores A y B. En él B quiere demostrar que A tiene la misma cantidad

(o no) de monedas en su bolsillo izquierdo que en el derecho. Para ello, la forma más simple es que B le pida a A las monedas de cada bolsillo y las cuente. Para demostrar la afirmación de que A realmente tiene (o no) las mismas monedas en cada bolsillo basta con que las enseñe. En este caso, el problema es que B está violando la privacidad de A, pues no debería ser necesario que B conozca cuántas monedas tiene A y, mucho menos, tener que enseñarlas a la audiencia para demostrar la veracidad de sus investigaciones. Esta violación de la privacidad se puede superar aplicando de forma simple una solución basada en prueba de conocimiento cero. Supongamos que A tiene X monedas en el bolsillo derecho e Y monedas en el izquierdo. Para no conocer el número de monedas que posee A, B le pide que piense en un número Z, entero y mayor que X e Y. A continuación le pide que le diga la diferencia entre Z y X y entre Z e Y. Si ambas diferencias son iguales, A tiene el mismo número de monedas en ambos bolsillos, del mismo modo que si las diferencias no coinciden, se puede afirmar lo contrario, incluso sabiendo en qué bolsillo hay un mayor número de monedas. Y todo esto sin que B llegue a conocer en ningún momento cuántas monedas posee A. Matemáticamente, se trataría de un sistema de 2 ecuaciones con 3 incógnitas, por lo que no se puede resolver y no se pueden obtener los valores de X e Y:

$$Z - X = C$$

$$Z - Y = D$$

Pese a que no es resoluble, sabiendo los valores de C y D se puede demostrar en qué bolsillo tiene más monedas ($C > D$ ó $D > C$) o si se tienen las mismas ($C = D$), sin necesidad de conocer los valores reales.

La importancia de este esquema criptográfico es tal que se ha implementado de forma satisfactoria en campos tan esenciales como la verificación de armas nucleares, permitiendo a los observadores internacionales medir la veracidad de una nación al cuantificar su fuerza nuclear sin necesidad de conocer la tecnología o cabezas u otros detalles clasificados que no quieren que sean sacados a la luz.

A parte del ejemplo, hay que terminar este apartado de ZK

2.5.4. Mixnets

Adaptar el texto de temp.tex

2.5.5. Cifrado homomórfico

Aquí hay que añadir el texto sobre el cifrado homomórfico

2.5.5.1. ElGamal / ElGamal Exponencial

Uno de los algoritmos más utilizados para realizar un cifrado homomórfico es el de ElGamal. Este algoritmo es un sistema de cifrado homomórfico respecto de la operación multiplicación. Con esto, se obtiene un proceso en el que el producto de dos mensajes cifrados equivale al cifrado del producto de ambos mensajes.

$$\varepsilon(x_1) \cdot \varepsilon(x_2) = \varepsilon(x_1 \cdot x_2)$$

La propiedad de ElGamal en cuanto a homomorfismo es muy interesante, pero de cara al voto por Internet, presenta ciertos problemas. El principal es que la operación en la que se basa es el producto. Sería mucho más útil que el homomorfismo fuera sobre la suma, ya que el escrutinio no es otra cosa que la suma (totalización) de votos.

Así, existe una variante de ElGamal que se denomina ElGamal Exponencial. En esta variante, en lugar de encriptar el mensaje

$$m$$

como en ElGamal tradicional, se cifra

$$g^m$$

- donde g es un generador, normalmente se suele reutilizar el mismo que se utiliza para generar la clave pública -, transformando el sistema en un homomorfismo aditivo, es decir, sobre la operación suma.

$$\varepsilon(g^{x_1}) \cdot \varepsilon(g^{x_2}) = \varepsilon(g^{x_1+x_2})$$

Ahondar un poco en la criptografía, pero sólo la parte que entiendo.

2.6. Esquemas de Voto Electrónico

El problema es que parece que repetimos en los esquemas lo que se pon en las primitivas. Hay que ver cómo debo escribirlo.

Los sistemas de voto electrónico están formados por un diseño conceptual y el llamado esquema o paradigma de voto electrónico (E-Voting Schemes - EVS). El esquema es el núcleo del sistema, lo que asegura que los requisitos se cumplan.

La práctica totalidad de estos esquemas usan mecanismos y principios criptográficos.

Los esquemas de voto electrónico se basan en una primitiva criptográfica o en un conjunto de ellas. Por eso, hay una serie de esquemas publicados apoyados sobre alguna de las primitivas introducidas en el apartado anterior.

Podemos clasificar varios tipos de esquemas de voto electrónico entre los más usados según las publicaciones de una serie de expertos en el campo del voto electrónico criptográfico:

- Esquema de Voto Electrónico basado en Cifrado Homomórfico

El votante emite su voto codificado y el recuento se realiza sin descodificar los votos. De esta forma se consigue que no se vulnere el secreto del voto. Para poder realizar esta descodificación, el elector debe instalar algún software desarrollado por la autoridad electoral para realizar las operaciones criptográficas.

- Esquema de Voto Electrónico basado en Canales Anónimos

Se trata de un esquema bastante seguro, aunque complejo al mismo tiempo. Se trata el anonimato del votante ocultando el origen de los votos que recibe el sistema.

- Esquema de Voto Electrónico basado en Mixnets El esquema basado en mixnets (redes mixtas) define la existencia de una serie de servidores enlazados. Cada uno de estos servidores recibe un grupo de mensajes encriptados, los reordena, los vuelve a encriptar de forma aleatoria y los envía al siguiente servidor. Con este proceso se consigue que no sea posible asociar la información de los mensajes de entrada con los de salida, rompiendo la relación votante-voto del sistema.

La desencriptación de los votos se puede realizar tanto en cada servidor (por medio de su propia clave) como al finalizar el proceso utilizando una clave distribuida entre varios de los servidores.

- Esquema de Voto Electrónico basado en Secreto Compartido

En el esquema de voto electrónico basado en secreto compartido, también llamado Paradigma de Benaloh [***** CITA *****], el votante comparte su voto entre varias autoridades electorales. Una vez finalizado el proceso de votación, cada autoridad computa los votos que ha recibido y los pone en común con el resto de autoridades electorales que toman parte en la elección. Así se obtiene el resultado total del proceso.

- Esquema de Voto Electrónico basado en Pruebas de Conocimiento Nulo

- Esquema de Voto Electrónico basado en Firma Ciega

En un Esquema de Firma Ciega, el firmante no conoce el contenido del mensaje que firma, ya que el emisor del mismo realiza un proceso previo para ocultar su contenido, lo que se conoce por *cegar* el mensaje.

Se caracteriza porque la entidad firmante no adquiere ningún conocimiento sobre el contenido del mensaje que está firmando, aunque, con posterioridad, la firma obtenida puede ser verificada como válida tanto por esta entidad firmante como cualquier otra entidad que disponga de la información necesaria.

Se caracteriza porque la entidad firmante no adquiere ningún conocimiento sobre el contenido del mensaje que está firmando, aunque, con posterioridad, la firma obtenida puede ser verificada como válida tanto por esta entidad firmante como cualquier otra entidad que disponga de la información necesaria.

Explicación del proceso (Chaum???)

Los esquemas que se basan en protocolos con firma ciega suelen usar canales anónimos para enviar tanto la firma como el voto cifrado a la autoridad electoral, con lo que protege el anonimato del votante.

Podemos encontrar este esquema en soluciones como la propuesta en 1992 por Fujioka en [20], la cual sirvió de base a Cranor para la implementación de un prototipo (Sensus).

El esquema desarrollado en Sensus divide el proceso en cuatro etapas: *ini-*

cialización, registro, votación y recuento. A su vez, registra dos autoridades: *Administrador* y *Contador*.

***** VER BELLEBONI *****

- Esquema de Voto Electrónico basado en papeletas precifradas

Este esquema de voto electrónico aparece en la tesis [29]

Según la tesis de Morales Rocha [29], podemos definir cuatro grupos de esquemas de voto electrónico remoto. Estos se diferencian en la forma en la que usan los elementos criptográficos para tratar de resolver los requisitos de seguridad de un sistema electoral:

- Esquemas basados en firma ciega
- Esquemas basados en mixnets
- Esquemas basados en cifrado homomórfico
- Esquemas basados en papeletas precifradas

El propio autor de la tesis citada [29], incorpora (en la página 109) un resumen con las ventajas y desventajas que ofrece cada uno de estos esquemas (tabla 2.5).

Junto con estos esquemas básicos en cuanto a solucionar problemas determinados de los procesos electorales electrónicos, nos centramos en resumir algunos de los esquemas desarrollados concretamente para elecciones mediante voto por Internet.

Estoy diciendo cosas contradictorias. Arreglar.

Está fuera del alcance de este proyecto el estudio de estos esquemas y sus evoluciones, pero nos basamos en esta información para el desarrollo del sistema que se implementa. Para ahondar en ellos, recomiendo la lectura de la citada tesis de Morales Rocha [29], así como el capítulo 4 de la tesis de la Dra. Emilia Pérez Belleboni [35], en la cual se expone una recopilación de información muy concisa sobre multitud de esquemas y sistemas que los implementan, según las necesidades que se necesiten cubrir.

Clasificación	Ventajas	Desventajas
Esquemas basados en firma ciega	<ul style="list-style-type: none"> Protegen la privacidad del votante al separar los procesos de autenticación y voto. 	<ul style="list-style-type: none"> La protección del anonimato puede verse afectada si un atacante monitorea el canal de comunicación. Con el conocimiento de la clave privada de la autoridad de autenticación se pueden añadir votos no legítimos.
Esquemas basados en mixnets	<ul style="list-style-type: none"> Protegen la privacidad del votante a través de las permutaciones llevadas a cabo. 	<ul style="list-style-type: none"> Difícil verificación de que los servidores mix han actuado correctamente. En el caso de mixnets de descifrado, el terminal de votación requiere de alta capacidad de cómputo.
Esquemas basados en cifrado homomórfico	<ul style="list-style-type: none"> Protegen la privacidad del votante al no tener que descifrar los votos individualmente para llevar a cabo el escrutinio. 	<ul style="list-style-type: none"> No soportan todo tipo de elecciones. Son susceptibles a ataques en donde votantes deshonestos pueden enviar un mensaje que represente más de un voto para un candidato.
Esquemas basados en papeletas precifradas	<ul style="list-style-type: none"> Protegen la privacidad del votante ya que este envía como voto un código cuya relación con el candidato es desconocida para el servidor de votación. Evitan ataques de código malicioso que trate de alterar o conocer el contenido del voto. El voto puede ser enviado desde un dispositivo con baja capacidad de cómputo. Permiten al votante verificar que su voto se ha recibido correctamente en el servidor de votación. 	<ul style="list-style-type: none"> Posibles alteraciones en las papeletas precifradas sin detección, lo cual ocasionaría que el votante envíe un voto diferente al deseado. Se pueden presentar problemas de logística en la distribución de las papeletas a los votantes. Votantes no pueden verificar que su voto fue incluido en el escrutinio sin arriesgar un ataque de coerción masiva. Poca usabilidad al tener que teclear códigos de votación.

Tabla 2.5: Resumen de ventajas y desventajas de los esquemas de voto electrónico según Morales Rocha [29] (p. 109)

2.6.1. Prueba de conocimiento cero

La técnica de Prueba de Conocimiento Cero (Zero Knowledge Proof - ZKP) en criptografía permite a un actor probar un mensaje a otro actor verificador sin revelar el contenido del mismo.

2.7. Estado actual de las tecnologías

Falta literatura en este apartado. Para el final.

2.7.1. Certificados Digitales

La web de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre [10] indica que *un certificado digital es un documento electrónico que asocia una clave pública con la identidad de su propietario*.

Complementa la definición añadiendo que *adicionalmente, además de la clave pública y la identidad de su propietario, un certificado digital puede contener otros atributos para, por ejemplo, concretar el ámbito de utilización de la clave pública, las fechas de inicio y fin de la validez del certificado, etc. El usuario que haga uso del certificado podrá, gracias a los distintos atributos que posee, conocer más detalles sobre las características del mismo..*

La utilidad de los certificados digitales, simplificando el contexto, se resume en *asegurar que una determinada clave pública pertenece a un usuario en concreto*.

Con las tecnologías actuales, la economía ha virado su desarrollo hacia el comercio electrónico y las relaciones remotas. Muchas transacciones que antes se realizaban en persona han evolucionado al mundo digital, por lo que, para la mayoría de ellas es indispensable poseer mecanismos que puedan demostrar que los sujetos intervenientes en la comunicación están únicamente identificados y con la seguridad de que no se produce suplantación.

Una herramienta fundamental para cumplir con este propósito ha sido el desarrollo de las certificaciones digitales.

COMPLETAR

2.7.2. NFC

Buena fuente de información en https://www.agpd.es/portalwebAGPD/canaldocumentacion/publicaciones/common/Guias/Guia_RFID.pdf

NFC (**Near Field Communication** - Comunicación de Campo Cercano) se trata de una tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance.

El origen de esta tecnología está en el RFID, tecnología ya bastante utilizada en múltiples campos de nuestra vida cotidiana. Un buen ejemplo son las etiquetas en prendas en tiendas de ropa o en productos de supermercado. Si tratas de llevarte algo sin pagar, al pasar por unos arcos a la salida preparados con cierto campo magnético, las etiquetas RFID activan una alarma, la cual se desactiva una vez se ha abonado el producto.



Figura 2.8: Logo de RFID

RFID (**R**adio **F**requency **I**Dentification, en español identificación por radiofrecuencia) es una tecnología de comunicación inalámbrica centrada en la transmisión de un identificador mediante ondas de radio. Así, a cualquier producto se le puede asociar un identificador único a través de una etiqueta RFID y así poder ser detectado y leído por un lector apropiado de forma inalámbrica.

En el caso de NFC, se trata de un concepto similar, pero buscando la transmisión de datos más complejos que un simple identificador.

NFC, se basa en la norma ISO 14443 (RFID), un estándar internacional relacionado con tarjetas de identificación electrónica, especialmente tarjetas de proximidad. Como establece esta norma estándar, NFC se comunica mediante inducción en un campo magnético. Por tanto cada tarjeta NFC cuenta con una antena en espiral, con lo que cuando se ambas (origen-destino) se colocan dentro de un campo electromagnético cercano, se puede realizar la transmisión de datos. Cumpliendo igualmente con la norma, esta tecnología trabaja en una banda de frecuencia de 13,56 MHz.

Este campo electromagnético debe ser producido por uno de los dispositivos

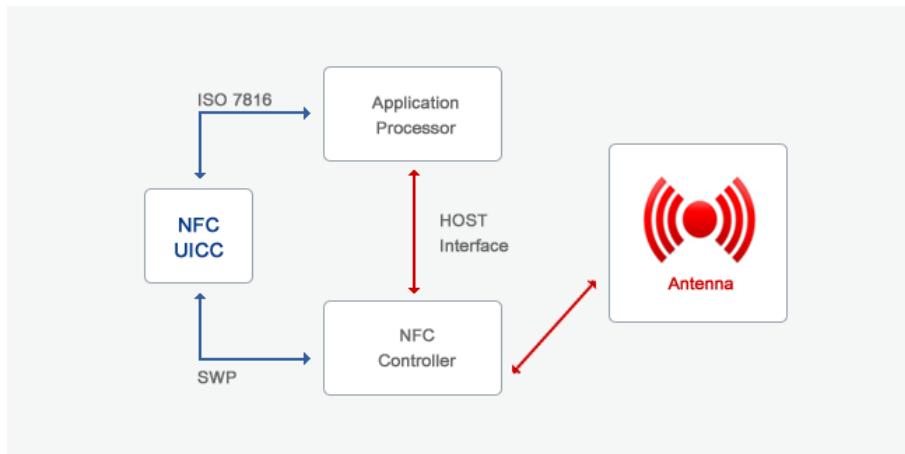


Figura 2.9: Arquitectura de un chip NFC

o por ambos al mismo tiempo. Esto provoca que los dispositivos que implementan el estándar NFCIP-1 tienen la capacidad de funcionar de dos modos:

Modo Activo: En el modo activo, ambos dispositivos generan su propio campo electromagnético.

Modo Pasivo: En el modo pasivo, uno de los dispositivos genera el campo electromagnético y el otro se aprovecha de la modulación de la carga para poder transferir de datos. Es el dispositivo que inicia la comunicación el que genera el campo.

Este protocolo de comunicaciones puede trabajar a diferentes velocidades: 106, 212, 424 ó 848 Kbits/s. La velocidad de la transmisión se negocia al comienzo de la comunicación entre los dispositivos, aunque puede regularse según sea necesario variando ciertos parámetros.

Según NFC Forum, organización fundada en 2004 por Philips, Nokia y Sony y que hoy reúne alrededor de 170 miembros, la conexión entre dos dispositivos se realiza de forma automática cuando estos se encuentran cerca el uno del otro, digamos, a unos 5cm de distancia. De todos modos, esta distancia es variable en cuanto a que se puede ver afectada por ciertos factores como pueden ser el tipo de emisor/receptor, temperatura, aislantes, etc. Este foro fija la máxima distancia para operar con este canal de transmisión en 20cm, con el propósito de cubrir la seguridad de la información, que esta no pueda ser accedida de forma remota por un atacante a distancia.

Dentro de los modos de comunicación activo y pasivo también se definen 3 modos de comunicación:

Modo Lectura / Escritura Con este modo, las aplicaciones pueden transferir datos en un formato definido por el NFC Forum, aunque es un modo no considerado seguro.

Modo emulación NFC Card Este modo permite al dispositivo actuar como una Smartcard estándar, es decir, la transmisión de datos se encuentra segurizada.

Modo Peer to Peer Este modo permite la comunicación directa entre dos dispositivos a nivel de enlace.

Hoy en día, el uso del NFC está bastante extendido en cuanto a que muchos dispositivos entre smartphone y tablets lo implementa de serie. Además, está desarrollándose el pago con tarjetas de débito/crédito contactless, por lo que muchos comercios ya poseen TPVs para tarjetas sin contacto, o incluso con pago a través del móvil por NFC.

Igualmente, desde hace un tiempo, existen tarjetas NFC con las que se pueden realizar tareas al poner en contacto con el dispositivo móvil. Un ejemplo de funcionamiento sería colocar una etiqueta NFC junto a la puerta y que al pasar el móvil por ella se encienda la luz de la habitación por medio de una bombilla inteligente. O colocar una tarjeta junto a la puerta de casa que indique al móvil que desconecte el WiFi al salir de casa para disminuir el consumo de batería.

También se utiliza el NFC en marketing. Hay anuncios que incorporan etiquetas NFC en ellos. Concretamente, en junio de 2010, una empresa de Motril diseñó el primer anuncio en España que incorporaba una etiqueta NFC situada bajo pegatinas colocadas en motos que realizaban una ruta deportiva.

Ya en 2015, con la salida del DNIE 3.0, la tecnología NFC llegó a la identificación de los ciudadanos españoles. Esta nueva versión del carnet de identidad complementa el chip con contacto que incluía la primera versión del DNIE con un chip sin contacto que realiza las mismas funciones sin necesidad de un lector de chips del primer tipo.

2.7.3. Smart Cards

2.7.4. DNle

DNle - Añadir DNle 3.0

Del documento <https://www.incibe.es/extfrontinteco/img/File/intecocert/dnis/pdf/guiades.pdf>

El proceso a seguir cuando se está en posesión todos los certificados necesarios para operar con el DNle es (para cada uno de los certificados):

- Verificar que el certificado fue firmado usando la clave privada que corresponde a la clave pública de su emisor. Este paso no es necesario para el certificado de la CA raíz.
- Verificar la validez del certificado, es decir, no ha caducado.
- Realizar la validación OCSP contra el servidor de la FNMT.

2.7.5. Python

2.7.6. Django

Django es un framework para aplicaciones web escrito en Python. Además, tiene la característica de ser un framework gratuito y un proyecto open source.

2.7.7. Android

2.7.8. Web

La web no está preparada para certificados digitales personales, etc, etc...

Capítulo 3

Planteamiento

3.1. Objetivos finales del proyecto

El objetivo principal de este Proyecto de Fin de Carrera es la implementación de un sistema de votación electrónica remota (i-voting) diseñada de forma ad-hoc para dos de los procesos electorales que se llevan a cabo en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad San Pablo CEU.

Estos procesos están definidos en las *Normas de Organización y Funcionamiento de la Universidad San Pablo-CEU* [32] y son:

- Elecciones de Delegados y Subdelegados
- Elecciones de Miembros de la Junta Electoral

El sistema que se propone en esta memoria es un sistema **robusto, fiable, verificable y auditabile**, buscando satisfacer las exigencias de seguridad de procesos electorales más ambiciosos que los que tratamos en este proyecto, los cuales abarcan el ámbito universitario. Por tanto, intención de este PFC, no es la de simplemente realizar estos comicios de forma electrónica, sino tratar de diseñar un sistema con idea de que pudiera ser escalable para niveles superiores al ámbito de la Escuela o la Universidad.

Como se ha avanzado al inicio de esta sección, el sistema propuesto busca tener estas características:

- **Robusto** El sistema debe ser tolerante tanto a fallos como ataques externos e internos.

- **Fiável** El sistema cumple con requisitos de seguridad que satisfacen la privacidad y la precisión de votos y votantes.
- **Verifiable** Se puede verificar que los votos han sido contados y forman parte del resultado del escrutinio.
- **Auditable** El sistema debe proporcionar mecanismos para que pueda llevarse una auditoría del mismo antes, durante y después del proceso.

El germen de la idea del proyecto, como se comenta en las Motivaciones del proyecto (1.1) era la búsqueda de soluciones para elecciones generales, autonómicas, municipales, etc. Junto a la idea de desarrollar soluciones para este tipo de comicios, también está el estudio de las circunstancias por las que todavía no se han implementado sistemas de este tipo en España de carácter general.

Al realizar el estudio del estado del arte, se puede recopilar una ingente documentación teórica sobre diferentes sistemas, paradigmas y esquemas de todo tipo de votación electrónica. Hay muchos artículos y tesis muy importantes que tratan de desarrollar sistemas de este tipo, desde el punto de vista teórico hasta el prototipo práctico. Incluso tenemos estados que han implementado una solución con carácter vinculante. En este PFC, lejos de tratar de encontrar una solución novedosa y revolucionaria, vamos a tratar de plasmar un conjunto de ideas y proposiciones de diferentes autores para implementar un sistema propio para la escuela que cumpla con el mayor número de requisitos básicos y deseables para el voto electrónico, teniendo en cuenta el factor remoto, es decir, que cumpla - además de con los requisitos del voto electrónico - con requisitos de control, confiabilidad y seguridad que hagan viable el voto a través de Internet.

Así pues, el objetivo general del PFC será:

- Diseñar un esquema y un sistema de voto electrónico remoto a través de Internet que sea robusto, fiable, verificable y auditabile para que se puedan llevar a cabo las Elecciones a Delegado y Subdelegado de Curso y las Elecciones a Miembro de la Junta Electoral de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad San Pablo CEU.

?¿?¿?
además
de un
coste
ajusta-
do,

Teniendo en cuenta el objetivo general, vamos a definir una serie de objetivos intermedios que habrá que cumplir:

OBJETIVO 1 Definir un esquema de voto electrónico que soporte la implementación del sistema en base a los requisitos del mismo.

OBJETIVO 2 Especificar el mecanismo y los protocolos para la identificación de votantes en el sistema y la emisión de los votos sin coerción.

OBJETIVO 3 Especificar los mecanismos y protocolos para una segura recepción de los votos, así como un correcto escrutinio y una veraz publicación de resultados.

OBJETIVO 4 Plantear un sistema de voto existente que cumpla con los requisitos del voto electrónico y sea adaptable a las necesidades de los procesos electorales a acometer.

OBJETIVO 5 ...

OBJETIVO 6 ...

[SEGUIR CON LOS OBJETIVOS](#)

3.2. Descripción del sistema actual

En estos momentos, las elecciones en la Escuela Politécnica Superior se realizan con el método tradicional de voto en urna, sin componentes electrónicos que gestionen el proceso.

3.2.1. Elecciones a la Junta de Escuela de la EPS

3.2.1.1. Definición de la Junta de Escuela

Según el documento **NORMAS DE ORGANIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD SAN PABLO-CEU** [32], en su Artículo 9, *"Las Facultades, Escuelas y Centros integrados o adscritos son las instancias responsables de la organización de la enseñanza e investigación, de acuerdo con las directrices emanadas de los órganos superiores de la Universidad, y de los procesos académicos, administrativos y de gestión conducentes a la obtención de títulos de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional, así como de aquellas*

otras funciones que determinen las presentes Normas de Organización y Funcionamiento y los restantes reglamentos universitarios.”

A partir de esta definición, en el *Capítulo II. De los órganos académicos*, encontramos el Artículo 22, *Tipos de órganos*, donde se establece *“(1c) que las Juntas de Facultad, Escuela o Centro son órganos colegiados”*. Y encontramos su definición en el Artículo 31, *Las Juntas de Centros*, donde podemos leer que *“La Junta de Facultad, Escuela o Centro es el órgano colegiado de gobierno del mismo, que ejerce sus funciones con vinculación a los acuerdos del Patronato, Consejo de Gobierno y resoluciones del Rector.”*

También podemos destacar los artículos 32 y 33, donde se establece la composición y funciones de las Juntas de Facultad, Centro o Escuela:

- Artículo 32: Composición de las Juntas

La Junta de Facultad, Escuela o Centro estará compuesta por miembros natos y electos.

Son miembros natos: El Decano o Director, que presidirá sus reuniones; los Vicedecanos o Subdirectores, el Secretario académico, que levantará acta de sus sesiones y los Directores de los Departamentos integrados en la Facultad o Escuela.

Son miembros electos: Quienes resulten elegidos en representación del profesorado y de los alumnos de acuerdo con la normativa que reglamentariamente se establezca.

- Artículo 33: Funciones de las Juntas Las competencias de la Junta de Facultad, Escuela o Centro son:

- a) Colaborar con el Decano o Director en la gestión de la Facultad, Escuela o Centro.
- b) Promover el perfeccionamiento de los planes de estudio y de la metodología docente, así como el establecimiento de nuevos títulos tanto propios como oficiales.
- c) Participar en la programación de las actividades de extensión universitaria.
- d) Velar por la adecuada dotación de los servicios necesarios para su correcto funcionamiento.

- e) Cualquier otra competencia que le pueda ser atribuida en el desarrollo de estas Normas de Organización y Funcionamiento.

3.2.1.2. Proceso electoral

AQUÍ HACE FALTA ENCONTRAR UN TEXTO LEGAL EXPLICANDO EL PROCEDIMIENTO DE LAS ELECCIONES

3.2.1.2.1. Plazos

- Convocatoria
- Presentación de candidaturas
- Publicación del censo
- Constitución de la Junta Electoral
- Designación de las mesas electorales

3.2.2. Elecciones de delegados y subdelegados de curso en la EPS

Sí hacemos estas elecciones hay que incluir lo que venga en las Normas de Organización y Funcionamiento

3.2.2.1. Proceso electoral

AQUÍ HACE FALTA ENCONTRAR UN TEXTO LEGAL EXPLICANDO EL PROCEDIMIENTO DE LAS ELECCIONES

3.2.2.1.1. Plazos

3.3. Alcance del proyecto

Como se indica en el apartado 3.1...

Alcance del proyecto

3.4. Fases del proceso electoral

El Consejo Europeo, dentro de su definición de estándares, recomienda la aceptación para utilizar el *Election Markup Language* (EML). Desarrollado por la *Organization for the Advancement of Structured Information Standards* (OASIS), su objetivo es el de permitir el "intercambio de información entre hardware, software y proveedores de servicios implicados en cualquier aspecto relacionado con el desarrollo de elecciones o servicios a votantes tanto para organizaciones públicas como privadas." [13] Según el estándar EML, se distinguen cuatro actores implicados y tres fases en el proceso electoral.

Actores

- Autoridad
- Administrador
- Votante
- Auditor/observador

Fases

- Fase Pre-Voting
- Fase Voting
- Fase Post-Voting

(...)

Teniendo en cuenta el EML, identificamos las tres fases que dirigen el proceso electoral como fases preelectoral, electoral y postelectoral, adecuándolas al idioma español. Cada una de estas fases contiene una serie de procesos o tareas determinadas.

- Fase Preelectoral
 - **Definición de los límites o reglas de la elección :** Deben definirse de forma que no parezca ambigua las reglas electorales. Qué se vota, a

quién se vota, de qué forma, cómo se cuentan los votos o se asignan los cargos. Quiénes pueden votar, cuándo comienza y finaliza el sufragio.

- **Elaboración del censo** : Las autoridades de la Elección deben realizar un proceso de elaboración del censo electoral, para identificar qué votantes tienen derecho a ejercer el voto y dónde (con qué opciones de voto).
- **Registro de votantes** : Puede ser necesario que, según los mecanismos de identificación a utilizar, el votante deba registrarse previamente a la elección frente a la Autoridad Electoral, con el fin de, si no existe censo electoral formalizado, introducirse en el censo de la elección o, si existe ese censo previo, obtener la acreditación identificativa necesaria para poder votar de forma remota con las garantías avaladas por la autoridad electoral.

EN LA TESIS DE VMMR, CAPÍTULO 5, VIENE MUCHA INFORMACIÓN. DE CARA A LA SOLUCIÓN, PODEMOS CITARLE, HABLAR DE QUE LO QUE HAY QUE CONSEGUIR ES IDENTIFICAR A UNA PERSONA DE FORMA INCORRUPTIBLE Y RELACIONARLA CON UN SISTEMA DIGITAL (FIRMA!!!!). HABLA DE LA HUELLA DACTILAR, LA FIRMA MANUSCRITA Y LA VOZ

- **Presentación de candidaturas** : A efectos del sistema informático que desarrollamos es el proceso en el que la autoridad electoral define qué candidaturas pueden ser elegidas por cada votante en cada circunscripción (lógica).
- Fase Electoral (Votación)
 - **Identificación** : El primer paso del proceso de votación es el de la identificación del votante. Como ya se ha planteado, la identificación del votante es uno de los procesos críticos de una elección, pues, el sistema debe cumplir con varios requisitos básicos del voto electrónico, como puede ser el principio de autenticidad (en el que sólo los votantes autorizados pueden votar) o el democrático (por el cual el votante que tiene derecho a votar es sólo para hacerlo una vez).
 - **Votación** : El momento en el que el votante ya identificado, observa las opciones que puede elegir y ejerce su voto a una o varias de ellas (dependiendo del tipo de elección).
- Fase postelectoral
 - **Difusión de resultados** : La difusión de resultados es la fase que tiene la responsabilidad de publicar los resultados de forma oficial u oficiosa. En los sistemas de conteo

- Auditoría No es una fase propiamente dicha en el sentido cronológico en el que se han definido las anteriores. La fase de auditoría abarca todas las etapas del proceso, en mayor o menor medida, puesto que debe permitir la vigilancia del correcto funcionamiento del mismo en todas ellas.

3.4.1. Fase preelectoral

3.4.1.1. Definición de los límites o reglas de la elección

Para ejercer la democracia de forma correcta las "reglas del juego" deben estar bien definidas, de forma clara y concisa, estableciendo los límites, los mecanismos, las fechas y todo lo necesario para una correcta interpretación, sin lugar a ambigüedades. (...)

Estas reglas de la elección son responsabilidad de la Autoridad Electoral encargada de la organización de los comicios, así como del organismo que los convoca. De cara al sistema informático, esta fase preelectoral es la que sienta las bases de la lógica de negocio del sistema. Ya que define las reglas que el sistema deberá cumplir para llevar a cabo correctamente la elección. (...)

3.4.1.2. Elaboración del censo

Uno de los cometidos de la Autoridad Electoral previamente a la celebración de unos comicios es la elaboración de un censo electoral completo y fiable que les permita tener un control de cuánta gente y quiénes disfrutan del derecho a votar. Además, este censo debe recoger a qué circunscripción pertenece cada votante y la mesa/urna donde debe realizar su voto.

Una circunscripción es una división electoral. Pensando en elecciones legislativas de España, por ejemplo, casi todas las provincias son unicircunscripcionales, excepto el Principado de Asturias, que se conforma con 3 circunscripciones y la Región de Murcia, compuesta por 5 circunscripciones. Sin embargo, para las Elecciones al Parlamento Europeo, España registra sus votos como una única circunscripción.

Al asignar cargos basándose en circunscripciones, es básico que en el censo esté definido en cuál de ellas vota cada votante. Además, en cada circunscrip-

ción, los candidatos varían, por lo que las papeletas entre las que cada votante puede elegir no serán iguales de unas circunscripciones a otras.

Extrapolando a las Elecciones a la Junta de Escuela de la EPS, podemos identificar varias de estas circunscripciones, a saber:

- Alumnos, por titulación: Arquitectura, Ingeniería Informática, Ingeniería de Telecomunicaciones e Ingeniería de la Edificación
- Profesores, por categoría: colaboradores, adjuntos, agregados y catedráticos.

Podemos asumir, entonces que hay 8 circunscripciones. Por las normas de estas elecciones, para cada circunscripción se eligen 2 representantes que serán los que acaben formando la Junta de Escuela, con 16 cargos electos.

***** CREO QUE ESTÁ MAL. REALMENTE, LOS ALUMNOS SON UNA ÚNICA CIRCUNSCRIPCIÓN: SU CENSO LO FORMAN LOS DELEGADOS Y SUBDELEGADOS DE CADA UNO DE LOS GRUPOS, QUE COMPONEN TAMBIÉN LOS CANDIDATOS. CANDIDATOS = CENSO EN ESTA "CIRCUNSCRIPCIÓN"

¿merece la pena el rollo este de hablar de circunscripciones a nivel nacional?

La Universidad deberá elaborar un censo con los alumnos y profesores que tienen derecho a votar en las Elecciones, así como definir en qué circunscripción lo harán, para que tengan conocimiento de entre qué candidatos pueden elegir a sus representantes. De cara al sistema, es importante conocer estas divisiones, tanto para el conteo de los votos, como para la gestión de los candidatos en el momento en el que se presentan al votante.

Por tanto, es necesario tener un sistema que cargue el censo electoral elaborado por la Universidad, así como la definición de las circunscripciones y la relación entre estas y el propio censo de votantes.

En el análisis debo comentar que el tema de las circunscripciones lo salvamos creando diferentes elecciones, para cada grupo de electores.

3.4.1.3. Registro de votantes

En muchos procesos electorales no existe un censo oficial elaborado por la Autoridad Electoral o alguna otra institución relacionada (como puede ser el INE en España). En ese caso, en multitud de estados se procede a una fase de registro en la cual se permite (en algunos casos, se obliga) a los ciudadanos a

que se registren en un listado de votantes. Es el paso previo para poder votar. Una vez finalizada esta fase de registro, la Autoridad Electoral posee un *censo oficial* de votantes.

En el caso de las Elecciones dentro de la Escuela Politécnica, el censo lo proveerá la propia Autoridad Electoral a través de los datos de profesores, alumnos y empleados del Centro. Al realizar la carga de estos datos para conformar el censo electrónico, el sistema tendrá conocimiento de qué potenciales votantes tendrán permiso o no para votar y qué opciones de voto deberá presentarles para que conformen su boleta electrónica.

Dependiendo del mecanismo digital de identificación y votación que se adopte para el sistema, la fase de registro puede ser tan simple como la correcta carga del censo en el sistema o puede aumentar ligeramente su complejidad. Si se decide utilizar una identificación basada en base de datos, habría que asignar a cada votante un nombre de usuario y una contraseña, al menos para ingresar en el sistema, ya que podría generarse otro par para la votación. En cualquier caso, en una situación como esta, además de la carga del censo resulta necesario una asociación de cada votante incluido en este con los nombres de usuarios y contraseñas generados para cada uno.

La Universidad proporciona a cada alumno, profesor y empleado un carnet universitario para su identificación. Entre otros servicios, estos carnets poseen la funcionalidad de identidad y firma digitales. Puede una buena opción hacer uso de estos servicios y evitar la asociación anterior, la cual, además del paso extra, no proporciona un nivel de seguridad aceptable. El servicio de esta tarjeta (TUI) o del DNIE español permite una identificación digital unívoca y confiable entre el votante y el sistema. Haciendo uso del servicio de firma digital, también se varía el esquema de votación del sistema, pues no requeriría de un módulo de generación de firmas electrónicas para votantes, pues cada uno llevaría el suyo propio en su TUI personal.

3.4.1.4. Presentación de las candidaturas

Una vez definido tanto el censo como las divisiones electorales, tiene que afrontarse el problema de la presentación de las candidaturas que van a competir en la elección.

Para esta fase se pueden plantear diferentes soluciones en cuanto a la nece-

sidad del proceso electoral. Desde un punto de vista simple, la propia Autoridad Electoral define y carga las diferentes candidaturas al sistema. Desde una visión más compleja, puede ser necesario la implementación de un sistema de gestión de candidaturas, como ya existe en elecciones de voto tanto electrónico como presencial, para que sean las propias candidaturas o partidos los que inscriban las listas o candidatos que les representen.

Para una elección como las que se quieren afrontar de la EPS, la primera visión, más simple, tiene muchas posibilidades de ser una solución adecuada. Sin embargo, pensando en un sistema para implantar en cualquier tipo de proceso electoral o, por ejemplo, pensando en elecciones a nivel municipal gestionadas por una autoridad a nivel estatal, donde concurren multitud de candidaturas, se hace imperioso desarrollar un sistema externo que realice la gestión de la inscripción de todas estas listas, estableciendo un plazo y mecanismos para que sean los propios partidos quienes lo hagan.

Esto último es lo que se realiza en las elecciones que se celebran en España, donde la Junta Electoral provee a los partidos de un sistema donde inscribir sus candidaturas, que la Junta puede gestionar, en caso necesario, dan posibilidades a los partidos a reclamar y generan el listado de candidaturas participantes en los formatos necesarios tanto para publicar en el Boleíín Oficial del Estado o la Comunidad Autónoma como para los diferentes sistemas de escrutinio o postelectoral que se vayan a utilizar con respecto a la Jornada Electoral.

3.4.1.5. Generación de claves de encriptado

Es necesario que en esta fase se generen las claves que se utilizarán tanto para encriptar el voto que deposita el votante en la urna digital como las necesarias para que los miembros de mesa puedan descifrarlo para poder realizar el escrutinio.

Con Helios, esto no está tan claro que sea así. La parte de descifrar el voto no sería cierta

3.4.2. Fase electoral

3.4.2.1. Identificación del votante

El primer paso de un votante a la hora de emitir su voto, en el sistema de voto tradicional es identificarse ante los miembros de la mesa electoral. Para ello, en elecciones como las que organizan el Ministerio de Interior en España o las diferentes Comunidades Autónomas, el votante hace uso de un documento que verifique su identidad. En España, este documento es el DNI, aunque también se puede hacer uso del Pasaporte. En otros países en los que se carece de un documento oficial de identidad expedido por las autoridades del Estado, se realiza un registro biométrico de los votantes con, por ejemplo, las huellas dactilares de los mismos.

En el caso de las Elecciones a la Junta de Escuela de la EPS CEU, la identificación de los votantes... falta

Una vez identificado al votante, se le tiene que cotejar con el censo de la elección o de la mesa en la que ha sido identificado. En países como España, la elaboración del censo corre a cargo del INE (Instituto Nacional de Estadística) y reparte a los votantes en diferentes mesas repartidas en locales electorales. En otros estados, este censo no existe y se requiere que sea la ciudadanía la que se registre en un Registro de Votantes, con lo que si no se ha acudido a tiempo de realizar este trámite, la persona pierde su derecho al voto.

En el caso de estudio de las elecciones de la EPS, este censo debe ser proporcionado por la propia Escuela. Los datos son suyos y la cesión debe ser temporal y, simplemente, para ser cotejado, nunca para publicación de ningún tipo de resultado o listado con la información proporcionada.

LOPD ????

Para dejar constancia de que un votante ya ha ejercido su derecho al voto, en países como España es tan simple como que los miembros de la mesa electoral lo reflejen en una lista con el censo de su mesa. En otros territorios, sin embargo, la costumbre es marcar de alguna forma a aquellas personas que han votado, como puede ser manchar algún dedo de la mano con tinta indeleble, para que, si volviese a intentar votar en otra mesa, se pueda comprobar que ya lo había hecho previamente.

En un sistema de voto por Internet no hay una interacción directa entre el votante y la autoridad electoral, que es quien debe permitirle votar. Por ello, es muy importante que los mecanismos para identificar al votante sean precisos y confiables. Por ello, hay que valorar qué método de identificación es el mejor para cumplir con los requisitos de la elección, incluidos ahí los inherentes al voto electrónico telemático y remoto.

- **Usuario / contraseña.**

Para las elecciones de la Junta de Escuela de la EPS, el método de usar un par usuario / contraseña sería una solución sencilla. El censo está bastante acotado y, al ser todos los potenciales votantes miembros de la Universidad, poseen una cuenta de correo electrónico corporativa proporcionada por ésta. El proceso sería tan fácil como, por ejemplo, usar la dirección de correo electrónico de cada alumno / profesor / trabajador de la Escuela como nombre de usuario y enviarles un email a cada uno con una clave aleatoria generada por la autoridad electoral.

Esta solución, no obstante, sería inviable para elecciones más ambiciosas, como lo son las legislativas estatales o autonómicas, ya que carecemos de elementos como direcciones de correo electrónico de todo el censo. Se podría utilizar el correo ordinario como método para hacer llegar estas credenciales, de la misma forma en que los partidos políticos hacen llegar la propaganda electoral o la Junta Electoral hace llegar la información del censo electoral a cada votante. Considero que sería un gasto extra de recursos económicos, humanos y medioambientales que no se sostiene para la utilización de este servicio. Tampoco se asegura la recepción del correo si aprovechamos el envío de la información del censo electoral, pues el envío, al contrario que cuando hemos solicitado el voto por correo y nos hacen llegar las papeletas, no es certificado. Realizar este envío de credenciales con garantía de recibo, resultaría muy costoso y lenta.

Otro motivo que desaconseja el envío de credenciales por correo es que éstas podrían ser interceptadas por otra persona distinta a quien identifican de forma no muy complicada, lo cual supone una brecha de seguridad bastante importante.

- **MobID**

El Gobierno de Estonia, para sus comicios por Internet está desarrollando una tecnología en la que el propio smartphone es la herramienta que sirve

para identificarnos. Parece una buena opción, pues hoy por hoy, es bastante común que llevemos el smartphone con nosotros de la misma forma que llevamos el DNI. Además, es un dispositivo muy personal, que no se suele compartir, por lo que podría realizarse una identificación única entre el usuario-votante y su registro en el censo electoral.

hay que mirar bien esto del MobID, pues no sé si habrá algo desarrollado, de todos modos, en España esto ni se contempla

- Smartcard

Otra opción posible es el uso de una smartcard que contenga certificados emitidos por la Autoridad Electoral para cada votante. Los inconvenientes de este método son varios:

- Por un lado, requiere un registro previo de los votantes, pues hay que generarles los certificados.
- Un problema logístico ya que, una vez generados los certificados e introducidos en las tarjetas, éstas deben hacerse llegar a los votantes que las van a utilizar. Este paso, en unas elecciones a gran escala puede suponer un esfuerzo injustificado.

- DNle

Lo ideal para una elección por el sistema de voto por Internet es implementar un proceso que resulte sencillo al votante, ya que si resulta ser más complicado que el voto tradicional, el votante no le verá sentido y no hará uso de él. Con este planteamiento, parece que el uso del DNle es una buena idea. Por un lado, es un documento oficial que llevamos normalmente con nosotros en todo momento. Además es el mismo documento que nos identifica en las elecciones tradicionales, con lo que para el votante no debería suponer ninguna suspicacia ni trauma, al estar completamente insertado en la sociedad su uso para este cometido (asumimos en este supuesto que la implantación del DNle en España es casi completa, que el votante ya no necesita acudir a una comisaría a solicitarlo y que los certificados no están caducados).

Ventajas del uso del DNle como identificador del votante:

- Documento expedido por las propias Autoridades del Estado, quienes lo avalan.
- Seguridad.

- La gente lo lleva consigo constantemente y está acostumbrada a usarlo para identificarse o, incluso, para realizar otro tipo de actividades en Internet, como obtener certificados de Organismos Públicos, banca por Internet, etc.
- Es el mismo documento que ya se utiliza para identificarse en las elecciones presenciales tradicionales.

Inconvenientes del DNIE:

- Extranjeros con derecho a voto pueden no tener DNIE, pero deberían poder votar con el pasaporte.
- Certificados caducados. Que los certificados que lleva consigo el DNIE no tengan la misma fecha de caducidad que el propio documento es un punto en contra, ya que los usuarios no lo renuevan al ver que no tienen que hacerlo con el documento físico.
- Rotura del chip que contiene los certificados.
- Limitaciones técnicas para las aplicaciones web. En el estado actual de la tecnología, es necesario hacer uso de un applet de Java para poder firmar con el DNIE. De cara a la identificación, ya hay software Javascript que se salta este paso, aunque no a la hora de firmar, para lo cual, hoy por hoy, no hay alternativa. Este detalle es una limitación importante, quizás no para el voto electrónico, pero sí para el voto ubicuo por Internet, ya que requiere de más tecnología que simplemente un dispositivo conectado a Internet y un lector. Además, el uso de applets está cada vez más limitado en Internet, en desuso, y se recomienda implementar alternativas basadas en el estándar W3C. Por desgracia, este organismo todavía no tiene definido de una manera versátil cómo afrontar el problema de la criptografía con certificados digitales personales en los nuevos estándares web.
- Necesidad de HW externo, como son los lectores de Smartcard. Para poder utilizar el DNIE como identificador, el sistema tiene que poder leer los datos que le indica. Si hacemos uso de los certificados que contiene, necesitamos un lector externo, lo cual quizás no sea un problema si usamos un PC que tenemos en casa, pero sí que puede serlo cuando queremos votar desde otro ordenador o incluso desde un dispositivo móvil, donde ya no es tan simple que tengamos este lector y que sea compatible. Ciento es que podríamos hacer uso de la banda

MRZ del documento escaneándola pero solamente con este dato no se puede mantener un nivel aceptable de seguridad. Por ejemplo, se podría identificar un usuario con una fotocopia de un DNI, lo cual en unas elecciones oficiales en España no está permitido.

A partir de enero de 2015, el Ministerio del Interior de España, a través de la Dirección General de la Policía, ya está proporcionando a los ciudadanos una nueva versión del DNIE, la cual, entre varios avances, posee, junto al chip electrónico, otro chip de radiofrecuencia basado en tecnología NFC.

Sin entrar en los posibles problemas de seguridad que implica el uso de chips de radiofrecuencia, se observa interesante este avance en cuanto a una aplicación de voto por Internet. Hoy en día son muchos los dispositivos móviles (smartphones y tablets) que disponen de un lector de chips por NFC, con lo que el inconveniente de necesitar lectores externos para identificación del votante y firma digital del voto ya no existiría. El votante podría votar desde una app instalada en su smartphone sin necesidad de elementos externos, ya que este chip NFC contiene los mismos certificados que el chip por contacto que existía hasta ahora en la primera versión del DNIE.

Se puede adelantar que sería interesante poder votar en la web desde el móvil en vez de desde la app.

Explicar un poco más el nuevo DNIE, ventajas e inconvenientes para el voto por Internet, así como un poco su funcionamiento con los cambios respecto al DNIE 2.0 —— aunque todo esto va en Estado de la cuestión

En el caso de las Elecciones a la Junta de Escuela de la EPS, podemos pensar en la primera opción. ~~No obstante, como se explica en próximos capítulos, el hecho de necesitar certificados de firma para cifrar y firmar el voto por seguridad, nos hace que tengamos que plantearnos una solución para este problema. Con una simple identificación de usuario / contraseña no lo vamos a poder resolver,~~ así que se tiene que buscar una alternativa. Sería inteligente tratar de buscar una alternativa que sirva tanto para el paso de votación como para el de identificación, por seguridad, así que podríamos pensar en DNIE. Pero en la Universidad podemos tener miembros del censo que no posean este documento (estropiado, caducado, extranjeros). La forma que tiene la Universidad de acreditar que un alumno forma parte de ella es con un carnet universitario que se entrega tanto a alumnos como a profesionales. Podría ser este documento, el oficial en la Escuela, el que se use como identificador de votante, con lo que estamos hablando de utilizar una smartcard especial, emitida por la propia Autoridad Electoral de forma previa.

Con el nuevo protocolo, esto es MENTIRAA

Lo que pasa es que me temo que estas tarjetas no tienen certificados, con lo que tampoco van a valer para la votación

3.4.2.2. Votación

En el sistema tradicional, el momento de la votación es aquel en el que el votante deposita su voto en la urna tras haber escogido la papeleta o marcado la boleta de candidatos y haber sido identificado correctamente por los miembros de la mesa electoral.

Este proceso es al que estamos habituados en los territorios con una cierta historia democrática. En principio, parece bastante transparente, en cuanto a que el votante puede confirmar sin ninguna duda que su voto, efectivamente, se encuentra dentro de la urna sellada, junto con el resto de votos de la mesa.

Aquí encontramos el primer detalle controvertido con respecto al voto por Internet. El votante no tiene constancia física de que su voto se ha depositado en la urna correcta, ni siquiera de si está en alguna urna. No "se ve".

Es más, sabe que ha introducido en la urna la papeleta que tenía en su mano, que sabe cuál es porque él mismo la ha elegido. Pero en el sistema informático, no sabe si ocurre lo mismo. Puede pensar que aunque haya seleccionado un candidato y el sistema le diga que ha contabilizado su voto por éste, realmente, por detrás esté cambiando el voto y registrando a otro candidato diferente.

Es misión del sistema informático proveer al votante de mecanismos que le permitan verificar todas estas cuestiones. Hay que diseñar el sistema para que haya confianza en él. Quizá esta sea la mayor de las barreras existentes en la actualidad para la implantación del voto por Internet, la falta de confianza.

No es por falta de métodos seguros o carencia de medios criptográficos. El problema es que no es fácil que el elector, opinión pública u organismos de control o auditoría confíen en el proceso, ya que, a priori, parece una gran caja negra, ante la cual es complicado asegurar una verificación de datos de forma transparente.

3.4.3. Fase postelectoral

Tras el escrutinio, la difusión de resultados y proclamación oficial. Además, facilitar que el votante asegure el escrutinio de su voto.

3.5. Logs

Esto no va aquí, pero lo pongo para acordarme. Ya veremos si va en planteamiento, en solución o en... Probablemente tenga que ir en un capítulo dedicado a la AUDITORÍA, ahora que lo pienso

Con la trascendencia que tiene un sistema de votación electrónico, es básico procurar de sistemas precisos y confiables para una auditoría interna o externa. Se trata de desarrollar herramientas y procedimientos que permitan corroborar el perfecto funcionamiento del sistema sin interferir en el mismo ni violar los principios de privacidad del voto secreto.

Una de las herramientas que se usan para este caso, son los logs del sistema.

Con los logs, se va escribiendo uno o varios ficheros con trazas que indican los pasos que se han llevado a cabo en cada momento o elementos que han afectado al sistema de una u otra forma.

En el caso de este sistema, es muy importante tener registrada la mayor parte de las acciones que ocurren en el mismo. Desde los accesos a web, intentos de autenticación, votaciones, hasta las acciones de los administradores del comicio, los miembros de la Junta Electoral encargados de proporcionar las claves para descifrar o los propios auditores.

No obstante, un exhaustivo registro de información acerca del proceso podría suponer un peligro para el secreto de voto. Esto puede ocurrir porque cuanto más información se registre, si no se hace con cuidado, mayor probabilidad de incurrir en un problema de trazabilidad del voto.

Pongamos un ejemplo, sencillo y burdo, de trazabilidad del voto por medio de registros de log independientes: Diseñamos el sistema con servidores de autenticación y votación independientes.

1. El servidor web guarda los accesos al sistema a través del portal web, con IP incluida.

2. El sistema de autenticación, registra el momento en que un votante se autentica, guardando la identidad del mismo.
3. El sistema registra qué votante y en qué momento introduce su voto en la urna digital, anotando el identificador del voto.
4. Otro log de registro es el que relaciona el identificador del voto cifrado con el contenido del mismo una vez descifrado.

En este ejemplo podemos observar claros fallos de diseño que comprometen la privacidad del votante, como el de guardar la relación entre un voto descifrado y el identificador del voto cifrado (pero para desarrollo o una prueba de caja blanca no es descabellado este tipo de registros).

Se observa que si un atacante tuviese acceso a los logs del sistema, podría, sin mucha dificultad llegar a relacionar al votante con el contenido de su voto, con lo que se pierde el anonimato del proceso. Todo ello incluso usando diferentes servidores y diferentes elementos de registro de log.

El argumento es que, al igual que en prácticamente cualquier sistema, es muy importante tener un servicio de logs que nos informen del funcionamiento del sistema, ya que así se puede estudiar en producción o a posteriori cómo se ha comportado el mismo y poder actuar ante ataques al mismo o responder con datos ante fallos en el mismo. Pero en un sistema de voto electrónico, además de la importancia que ya como sistema electrónico tienen, es muy importante centrarse en su diseño, ya que no es simplemente un servicio en el que añadimos trazas, sino que tenemos que asegurar que estas trazas no van a interferir en la seguridad del sistema, comprometiendo, como hemos visto en el ejemplo, el principio de anonimato en el voto que se le exige al sistema.

3.6. Descripción

Este apartado hay que moverlo al Análisis y estructurarlo correctamente.

Tras el estudio de cómo debe ser un sistema de voto por Internet, aparecen cuestiones importantes como puede ser el esquema criptográfico a utilizar, el flujo de procesos, actores intervenientes, fases, problemas asociados al voto electrónico, seguridad, confiabilidad, etc.

Teniendo en cuenta estos problemas, se ha valorado el uso de un sistema desarrollado desde cero, adecuado a las necesidades de la Elección de la Junta de Escuela que se quiere realizar. Frente a este escenario, otra opción es la de basarse en alguna herramienta existente y, si es necesario, realizar una adaptación de la misma para cuadrar con los requisitos de este proceso electoral.

El hecho de que este tipo de sistemas deban tener una base criptográfica muy importante es uno de los motivos principales para optar por la adaptación de alguna solución ya existente en lugar del desarrollo. En el estudio de soluciones en el mercado encontramos que, aunque no existen realmente muchas opciones libres que reutilizar, sí que existe un verdadero estudio teórico del problema del voto digital. Entre las opciones que han decidido desarrollar las propuestas teóricas hay algunos que merece tener en cuenta, como son Helios Voting, Agora Voting, Adder, el sistema electoral de Estonia, junto con otras opciones que no son E2E verificables o no tratan el voto remoto por completo, como pueden ser Votescript, Punch&Vote, ... ¡¡etc!!.

Rellenar
este etc.

De entre todas estas opciones, las más atractivas para el tipo de elecciones que se quieren desarrollar en este proyecto resultan ser las propuestas por Ágora Voting y Helios Voting.

Helios Voting es un sistema de voto E2E verificable, basado en un esquema criptográfico homomórfico, utilizando pruebas de conocimiento nulo para verificar tanto el voto individual de cada votante como el correcto conteo de la elección. En el sistema hemos visto que no es necesario desencriptar los votos para realizar el escrutinio, sino que se realiza con los votos encriptados y, posteriormente, lo que se descifra es el cifrado del resultado del mismo. El desarrollador de Helios Voting se ha apoyado en gente bastante reputada en el campo de la seguridad informática, la criptografía y el voto digital por lo que el apartado criptográfico del sistema está suficientemente probado y documentado que cumple con los requisitos del voto electrónico.

Aunque el peso de la criptografía la estamos delegando en el sistema elegido, en este se observan una serie de elementos que no se ajustan a la primera idea sobre el sistema desde cero.

El esquema criptográfico utilizado por Helios es homomórfico. En una primera versión apostaban por un esquema basado en mixnets, análogo al utilizado en el desarrollo del sistema estonio. El uso de una mixnet resultaba bastante interesante al pensar en la identificación del votante con un soporte que posee

certificados digitales, como el DNle, que permitiría identificar al votante y que este pudiese firmar su voto. Así, utilizando un protocolo de firma ciega, podría asegurarse la identificación única del votante, su elegibilidad para votar y si ya ha ejercido su voto con anterioridad. A partir del momento en el que se cierra la votación y comienza el escrutinio, sería muy importante desacoplar el dato del votante del voto emitido, momento en el que entra en juego el esquema de mixnets, ideal para llevar a cabo este proceso de desacoplamiento votante-voto.

Aunque en la primera versión de Helios el esquema utilizado fue el de mixnets, a partir de la siguiente versión se cambió al homomorfismo. El futuro a partir de la versión 3 era implementar ambas soluciones en el sistema, pero al final se decidió no continuar con la integración de la mixnet.

El sistema de identificación actual de Helios es el de usuario/contraseña o el uso de protocolos OAuth contra entidades externas, como Google, Facebook, Yahoo! o Twitter. En el caso de las Elecciones a la Junta de Escuela, parece muy interesante la introducción de los certificados digitales, aprovechando el esfuerzo de la Administración al desarrollar una nueva versión del DNI electrónico, con chips sin contacto NFC, lo que puede suponer una oportunidad para el uso de certificados digitales desde dispositivos móviles. No obstante, eliminando el elemento innovador del nuevo chip del DNle, observando casos de éxito del sistema Helios en elecciones reales, los organismos en los que se ha utilizado han desarrollado sus propios módulos de identificación de votantes. En concreto, en las elecciones de la Universidad de Louvain, se desarrolló el subsistema de identificación para que fuese compatible con las credenciales que los alumnos utilizaban para acceder a los servicios de la propia Universidad.

Por tanto, para las Elecciones de la EPS, sería una buena solución el desacoplar el módulo de identificación de votante y desarrollar uno nuevo que se comunique con la base de datos del censo de la Universidad. Para esto, se puede implementar, como en las elecciones de la Universidad de Louvain, un servicio de usuario/password y continuar con el sistema Helios existente. También se podría desarrollar un servicio de autenticación OAuth siendo la propia Universidad la que proporciona los tokens. Pero, como se ha avanzado, se va a implementar un sistema de autenticación basado en las credenciales proporcionadas por el DNle.

Un primer cambio importante que se propone para el sistema Helios es que la gestión del censo electoral pueda externalizarse. Actualmente, el sistema guarda

en su propia base de datos la lista de votantes que pueden votar. De hecho, por el carácter general del sistema, esto es así para que el administrador de la elección pueda cargar el censo de votantes a través de ficheros csv, separados por comas. Para el cometido del proyecto, sería necesario modificar este sistema censal.

Modificaciones sobre Helios:

- Capar el sistema para que no permita el voto a cualquier votante, sino solamente a aquellos votantes que aparezcan en el censo.
- Externalizar el listado de votantes para que no lo gestione Helios, sino el organizador de la Elección.
- Cambiar los métodos de autenticación para que el permitido sea el DNIE.
- ~~Modificar la cabina de votación virtual para poder firmar el voto con el certificado digital del DNIE.~~
- ~~Adaptar el almacenamiento del voto mientras la elección está abierta a que éste esté firmado digitalmente por el votante.~~
- ~~Modificar el proceso de escrutinio. Una vez cerrada la votación y abierta la urna, los votos han de ser separados de la firma digital de sus votantes. Esta firma se utilizará para establecer la participación sobre el censo.~~
- ~~Adaptar el proceso de la votación y el escrutinio a la existencia de múltiples mesas electorales, imitando el concepto de mesas, colegios y circunscripciones de las elecciones a mayor escala. En las Elecciones a Junta de Escuela, teniendo en cuenta las características del votante, el censo es diferente y las papeletas también deben serlo, ya que se elige entre diferentes candidatos.~~
- Modificar la interfaz web del sistema para adecuarla a las Elecciones a la Junta de Escuela de la EPS.

Introducir la firma del voto con el DNIE no introduce ningún tipo de mejora en la seguridad respecto del que provee de por sí la propia herramienta Helios Voting. Así que no lo vamos a hacer. Hay que cambiar las modificaciones sobre la misma.

Tareas: 1. Implementación de un módulo de autenticación basado en el DNIE para Django. El nombre que tendrá será dnie.py.

3.6.1. Diagrama Entidad-Relación

A continuación se muestra el diagrama entidad-relación del sistema Helios Voting real.¹

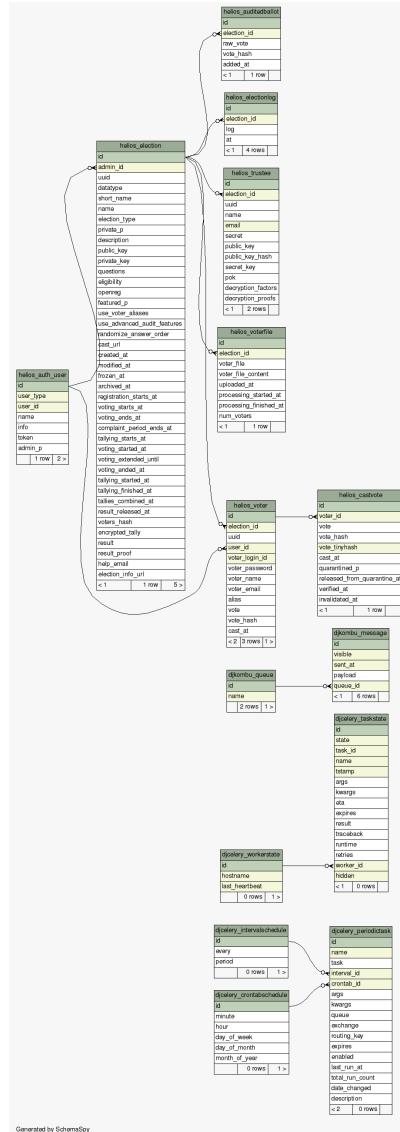


Figura 3.1: Diagrama ER del sistema Helios Voting

En el esquema se distinguen 3 clases de entidades:

- Las propias del core de Helios, cuyos nombres comienzan por *helios_*.
- Las entidades que utilizan la herramienta Celery (las que comienzan por *djcelery_*).

¹Generado automáticamente con la herramienta, SchemaSpy (<http://schemaspy.sourceforge.net/>), que permite obtener el diagrama directamente de una base de datos PostgreSQL ya existente.

- Las entidades que utiliza la herramienta Kombu (las que comienzan por *djkombu*_).

Con respecto al primer grupo, las que forman la capa de negocio del sistema Helios, se observa un diseño bastante simple, aunque adecuado para las necesidades del sistema:

helios_election Es la tabla que almacena las diferentes elecciones que crean los administradores.

helios_auditedballot En esta tabla se almacenan los votos que los votantes deciden verificar y publicar en el tablón para que puedan ser posteriormente auditados.

helios_electionlog Esta entidad registra los eventos que suceden en torno a una elección, ya sea su creación, congelamiento de la papeleta, apertura de la urna, escrutinio, etc.

helios_trustee Es la entidad que recoge la información de los usuarios que actúan como trustees de la elección. Entre la información de estos que se registra se incluyen las claves públicas que se almacena automáticamente al dar de alta a un trustee. También la clave secreta, que el trustee habrá de subir al servidor una vez se requiera para poder realizar el escrutinio.

helios_voterfile Esta entidad almacena los ficheros de votantes que el administrador sube al servidor desde la interfaz web del sistema. Desde estos ficheros se carga el listado de votantes.

helios_user En esta tabla se almacenan los usuarios / votantes del sistema, relacionados cada uno con las elecciones a las que tienen derecho a voto.

helios_auth_user Para cada elección, esta tabla asocia usuarios del sistema (con derecho a voto o sin él) con las capacidades de administración.

3.6.2. Flujo oAuth DNle

Para utilizar el DNle como herramienta de identificación de votantes se ha implementado una variación del protocolo oAuth de 3 patas (3-legged oAuth).

Hay que explicar el flujo que se ha implementado para el oAuth. Ver en el código.

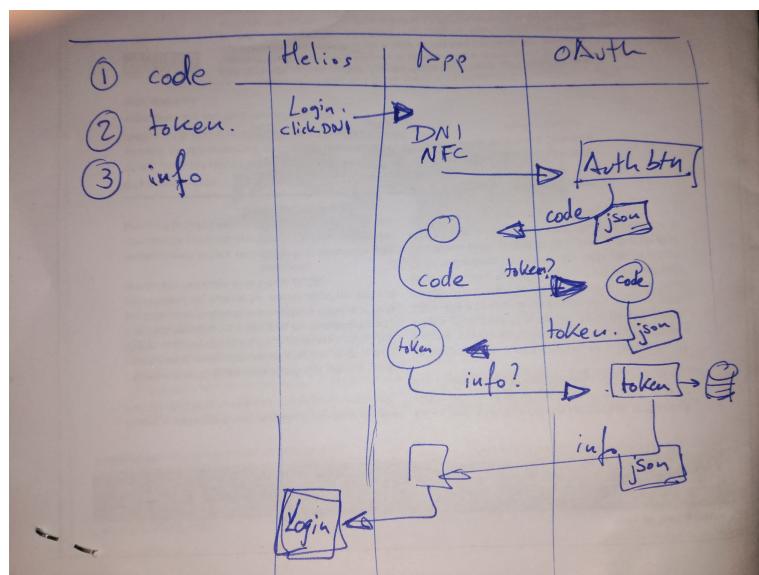


Figura 3.2: Flujo oAuth adaptado para permitir el uso del DNIe

Capítulo 4

Riesgos

4.1. Identificación y gestión de riesgos

(Uno de los riesgos que hay que tener en cuenta en este tipo de elecciones es la fecha límite. Tiene que funcionar durante un cierto período de tiempo, sin fallo y sin posibilidad de modificación -relativamente-)

Miembros de una conocida empresa española líder en procesos de voto electrónico publicaron un artículo de buenas prácticas al implementar un sistema de voto electrónico por Internet. En el mismo exponen una lista de riesgos generales de seguridad inherentes al voto electrónico. Su intención era usarlos como referencia para poder comparar diferentes sistemas de voto sin tener en cuenta la tecnología que los implementen.

En este PFC van a tenerse en cuenta de cara al diseño de un sistema robusto de voto por Internet.

- **Votos por parte de votantes sin autorización** El sistema de voto debe poseer un mecanismo robusto y confiable para identificar correctamente de forma remota a los votantes, ya que personas sin autorización podrían intentar emitir su voto.
- **Suplantación del voto** Un votante o un atacante podrían intentar suplantar la identidad de un votante autorizado para votar en su lugar. El sistema debe proporcionar un mecanismo que detecte este tipo de intentos de suplantación.

- **Inyección de votos** El sistema debe prevenir la aceptación de votos *inyectados*. Un atacante puede intentar introducir en la urna votos de votantes que no han participado en el proceso electoral (por ejemplo, por abstención) y que, por tanto, no deberían contabilizarse.
- **Privacidad del voto comprometida** : Un atacante podría intentar quebrar la privacidad del voto de un votante, identificando al mismo con su opción elegida, con lo que se pierde el requisito del derecho al voto secreto. El sistema debe implementar mecanismos que eviten completamente que, durante cualquier fase del proceso, la intención de voto de cualquier votante pueda dejar de ser secreta.
- **Coerción y compra de votos** Una persona u organización puede comprar a un votante u obligarle a votar por una candidatura específica. El sistema de voto debe evitar que un votante pueda probar a un tercero su intención de voto de forma irrefutable.
- **Modificación del voto** Los votos emitidos pueden ser modificados para cambiar el resultado de la elección. El sistema debe detectar cualquier manipulación en los votos válidos ya emitidos.
- **Borrado de votos** Relacionado con el anterior, un atacante podría intentar borrar votos que ya han sido emitidos. La urna debe estar protegida ante cambios no autorizados, como puede ser un intento de borrado.
- **Publicación de resultados intermedios no autorizados** Los resultados intermedios podrían ser divulgados antes del cierre de la elección, con lo que se puede influir en los votantes que todavía no hayan emitido su voto. El sistema debe preservar el secreto de los votos sufragados hasta el proceso de escrutinio y evitar la difusión de resultados parciales antes de la finalización del periodo de votación.
- **Desconfianza del votante** Un votante puede no tener ningún medio para verificar la correcta recepción y cuenta de su voto por parte del sistema. Debido a esto, el votante podría desconfiar del proceso. El sistema debe permitir al votante verificar si su voto ha sido correctamente recibido por el sistema y si ha sido incluido en el proceso de escrutinio con la opción con la que fue emitido.
- **Ataque DoS** Un atacante podría interrumpir la disponibilidad del canal de votación realizando un ataque DoS (*Denial of Service - Denegación de Servicio*)

vicio). El sistema debe detectar una eventual congestión de los servicios de votación para poder reaccionar tan pronto como sea posible y evitar una caída de los mismos que no permita a los electores sufragar su voto.

- **Auditoría no fiable** Una insuficiente trazabilidad de los eventos de la elección o una manifiesta facilidad para modificar los datos auditables puede permitir a un atacante esconder cualquier comportamiento no autorizado en el sistema. El sistema debe proporcionar medios para implementar un proceso de auditoría que permita detectar cualquier manipulación de estos datos.
- **Fecha límite** Un problema de este proyecto es el tiempo. No se trata de un desarrollo evolutivo en el cual se pueden ir desarrollando versiones que, una vez puestas en producción, pueden ser actualizadas para corregir errores o añadir funcionalidades. En este caso, el sistema tiene un barrera temporal claramente definida y que, en ningún caso, puede ser traspasada. El proceso electoral tiene unos tiempos establecidos a base de hitos predefinidos. A pesar de la existencia de hitos en la fase preelectoral, la importancia del sistema radica en que el día (o durante el período definido) de la Jornada Electoral debe estar en producción, totalmente funcional y lo más depurado posible para evitar prácticamente todos los fallos que puedan ser estimados. Por tanto, la variable temporal de este proyecto conlleva un riesgo extremadamente importante, ya que no tenerlo en cuenta y no cumplir los plazos establecidos conduce a la inutilidad del sistema y, por tanto, al fracaso del proyecto.
- **Errores en software** Puede parecer una obviedad, pero los errores de software para este sistema pueden resultar catastróficos. Dependiendo del tipo de aplicación, un error software puede ser más o menos grave, más o menos subsanable. En muchos casos puede suponer una pérdida económica y en otros, incluso, poner en peligro vidas humanas. En el caso de este proyecto, lo que puede suponer es un conteo incorrecto o la imposibilidad de realizar un escrutinio. Por ejemplo, en los sistemas que se utilizan para realizar el escrutinio provisional de las elecciones legislativas territoriales en España, estos se basan en un conteo manual de las papeletas sufragadas, una comunicación digital de los datos contados en cada mesa y, a continuación, el escrutinio de estos datos. En caso de caerse el sistema y ser imposible realizar el escrutinio provisional, aún siendo un fracaso del proyecto, puede recuperarse la información, que está en las actas físicas de cada mesa, para realizar el escrutinio definitivo de forma manual, por lo

hay que encontrar una mejor palabra

que la caída del sistema no afecta a la elección como para que no pueda ser llevada a cabo. Dependiendo del sistema que se quiera desarrollar para el proyecto del voto en la EPS, si no se usa ningún tipo de urna, pues el voto sería completamente digital, puede ocurrir que, en caso de caída del sistema o de fallo general, sin posibilidad de recuperación de la contingencia, sea imposible realizar un escrutinio manual alternativo. Aquí es donde se puede valorar el uso de otros sistemas y la conveniencia de realizar un voto por Internet *puro*, ya que el riesgo que conlleva en cuanto a la falla grave del sistema es bastante importante y puede llevar al fracaso de la elección o a que tenga que ser repetida.

Este párrafo está improvisado, habría que darle una vuelta.

- **Caída del sistema** .-.....

Capítulo 5

Análisis del sistema

Una vez ha sido presentado el proyecto, planteados los objetivos y estudiado el estado de la cuestión, la siguiente fase en el desarrollo es el Análisis. En esta etapa se analiza el problema con el cliente, llegando a un acuerdo en el alcance del proyecto y los requisitos que deben ser satisfechos.

5.1. Especificación de requisitos

5.1.1. Introducción

En esta sección de la memoria vamos a desarrollar la especificación de requisitos de software. Con esta técnica lo que se consigue es una descripción completa del sistema que se va a desarrollar.

Los requisitos se organizan en tres tipos diferentes:

- **Funcionales** : Son los requisitos que el sistema debe cumplir para su correcto funcionamiento. Son requisitos fundamentales de cara al usuario, ya que responden a la pregunta *¿qué hace?*, por lo que implican directamente en la funcionalidad que el sistema proporciona al usuario.
- **No funcionales** : Usualmente son los requisitos que responden a la pregunta *¿cómo lo hace?*. Definen las necesidades de recursos para el funcionamiento del sistema, como protocolos, infraestructura, tecnología...

- **Organizacionales :** *****

yo esto lo considero de otra forma, según wikipedia: son el marco contextual en el cual se implantará el sistema para conseguir un objetivo macro

5.1.2. Ámbito del sistema

El sistema que se va a desarrollar tiene como finalidad que los alumnos, profesores y empleados de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad San Pablo CEU puedan votar remotamente en las Elecciones a la Junta de Escuela.

Para ello, el sistema debe ser distribuido y dirigido hacia un entorno web, permitiendo que los votantes puedan emitir su voto desde cualquier lugar donde tengan conexión a Internet. Con el auge de los teléfonos móviles inteligentes y de las redes móviles (GPRS, 3G, 4G, HSDP...), se puede permitir la votación desde cualquier lugar en la que el proveedor de telefonía móvil provea de cobertura al votante.

Este enfoque ubicuo del voto debe asegurar, no obstante, las mismas garantías que proporciona un sistema de voto tradicional o uno de voto electrónico presencial.

El sistema dispone, por un lado, del servidor web que permite la interacción tanto con el votante como la difusión de los resultados electorales. Este servidor web tendrá comunicación con Internet y debe tener una seguridad acorde con el nivel de peligro ante ataques que se espere para este tipo de elección.

Por otro lado, la parte de la lógica de negocio del sistema se basa en subsistemas independientes, aunque modulares, dependiendo del servicio que tengan que ofrecer. La independencia de estos subsistemas responde a cuestiones de seguridad y para proporcionar mayor transparencia del proceso en cuanto al *flujo del voto* a través del software.

Adicionalmente, el sistema debe proporcionar funcionalidades externas al proceso de voto.

Debe tener un sistema de carga y gestión de los datos electorales (reglas de la elección, urnas, circunscripciones, candidatos, censo).

Debe proporcionar herramientas que permitan la monitorización del proceso para comprobar el estado del mismo, además de herramientas de transparencia

para que pueda ser auditado en tiempo real por las autoridades competentes.

5.1.3. Requisitos funcionales

- **Votación por Internet** El sistema de votación debe funcionar de forma remota en sus fases de registro, identificación, votación y consulta de resultados. Cualquier votante puede acceder a las funcionalidades del sistema a las que tiene autorización desde cualquier punto conectado a Internet.
- **Permitir votación presencial** El sistema debe proporcionar los mecanismos necesarios para permitir el voto a aquellos votantes con derecho al mismo que quieran emitirlo de forma presencial en el periodo habilitado para ello.

(Analizando este requisito, la mejor forma es habilitar un horario en la sala de ordenadores de la Escuela destinados a que las personas que quieran puedan votar de forma remota desde estos puestos)

- **Disponibilidad total** El sistema debe estar disponible para proporcionar servicio de voto durante todo el periodo estipulado en las normas que se fijen para la elección.

(24/7, un día, varios días... depende de cómo se defina el proceso)

- **Identificación remota** El sistema debe implementar un mecanismo que sea capaz de asegurar la identificación de un votante en el sistema de forma remota, digitalmente, sin posibilidad de error .

Esto de sin posibilidad de error ni me gusta ni queda correcto

- **Autenticación remota** El sistema debe poder autenticar a los votantes que tratan de usar su identificación digital para ingresar en el sistema de forma remota. El sistema no debe errar en esta autenticación, permitiendo la entrada de los votantes autorizados y revocando el acceso a los atacantes, suplantadores o desautorizados.

- **Papeleta/boleta digital** El sistema debe mostrar al votante la papeleta o boleta (dependiendo del tipo de elección) correspondiente a la elección y el censo que le corresponda. Debe contener las opciones correctas por las que puede optar y mantener correctamente la/s opción/es seleccionadas.

- **Voto anónimo** El sistema debe poder romper la relación existente entre el voto y el votante. Deben desarrollarse los protocolos criptográficos y de infraestructura necesarios para que nadie pueda vincular el contenido del voto a un votante determinado.

5.1.4. Requisitos propios del voto electrónico

AQUÍ HAY QUE DEFINIR LOS REQUISITOS DEL VOTO ELECTRÓNICO. DEPENDE DEL AUTOR, HAY UNOS U OTROS. HABRÁ QUE DEFINIR CUÁLES SON LOS QUE VAMOS A TENER EN CUENTA PARA ESTE PROYECTO. ESTÁN EN –TEMP– ESPERANDO A QUE Tome LA DECISIÓN. Fujio-ka? UNEX? MoralesRocha?

A partir de los requisitos estudiados al estudiar el estado actual del voto electrónico en 2.1.3, consideramos los siguientes requisitos como los implícitos al voto electrónico:

- **Autenticidad** : Sólo los votantes autorizados pueden votar. La autorización de un votante para ejercer su derecho al voto está expresada en el censo electoral conformado por la Autoridad Electoral competente. El sistema debe comprobar que el votante que quiere realizar un voto debe estar inscrito correctamente en el censo electoral y que en éste no se indique que tiene vetada su participación en el proceso.
- **Anonimato** : El voto es secreto. Ningún votante, observador o manipulador del sistema puede tener la habilidad o herramienta de poder conocer el voto que ha sufragado otro votante en ningún momento del proceso electoral.
- **Verificabilidad** : El votante puede asegurarse de que su voto se ha contado adecuadamente. El sistema tiene que proporcionar una herramienta que permita a un votante poder verificar que la opción por la que ha votado ha sido correctamente añadida a los resultados consolidados del proceso electoral, sin que por ello pueda violarse el requisito de Anonimato, asegurando que ningún actor del sistema pueda tener acceso al contenido de dicho voto.
- **Imposibilidad de coerción** : El voto emitido no puede ser mostrado. El sistema debe evitar que el voto emitido pueda ser mostrado a un tercer actor con el fin de evitar la coerción al votante por medio de éste.

NO ESTOY DE ACUERDO CON ESTO. ALGUNOS AUTORES INDICAN LO CONTRARIO, QUE ES PRIMORDIAL QUE EL VOTANTE SE QUEDA CON UNA PRUEBA DE SU VOTO. DE TODOS MODOS CONSIDERO QUE SI SE CUMPLE EL REQUISITO DE VERIFICABILIDAD, ES MEJOR CUMPLIR ESTE, PERO NO POR HACERLO VAMOS A CONSEGUIR REBAJAR EL RIESGO DE COERCIÓN, ¿O SÍ?

- **Possibilidad de emitir un voto nulo** . El sistema debe dar la opción al votante de que pueda realizar un voto nulo, al igual que puede realizarlo en un proceso electoral no electrónico.
- **Fiabilidad** : el sistema debe asegurar que no se producen alteraciones de los resultados. Es esencial que el sistema asegure que, aunque existan

riesgos inherentes a cualquier sistema informático, estos no van a afectar los resultados del proceso electoral.

- **Auditabilidad** : se debe poder comprobar que el funcionamiento de los elementos que intervienen en el proceso es correcto. Para favorecer la transparencia del proceso, es muy importante que el sistema proporcione unas herramientas que permitan tanto la monitorización del proceso como auditorías del mismo. Estas herramientas deben ser fiables y demostrar tanto su correcto funcionamiento como el del proceso electoral en sí mismo a una serie de actores designados (operadores, auditores, observadores).
- **Usabilidad** : cualquier votante debe ser capaz de emitir un voto en un tiempo razonable. El sistema debe ser usable y accesible, debe facilitar el proceso de emisión de voto a prácticamente la totalidad del electorado.

5.1.5. Requisitos del proceso electoral

- **Fechas límite** : El proceso electoral marca un requisito crucial en el funcionamiento del proyecto, las fechas límite operacionales. Desde la autoridad electoral, se deben definir en el protocolo o las Normativa Electoral de la Universidad una serie de fechas en las que se deben cumplir hitos del proceso electoral.
 - * **Fechas de inicio y fin de la carga del censo**
 - * **Fecha de apertura de mesas** : Una vez convocada la elección, habrá un día definido para llevar a cabo la misma. La autoridad electoral debe fijar un día y una hora en la que el sistema ha de estar abierto y disponible para que la totalidad del censo pueda votar.
 - * **Fecha de cierre de mesas** : Igualmente, el sistema debe cerrar las mesas en la fecha y hora estipuladas. A partir de este momento, se ha de asegurar que ningún votante puede votar o modificar ningún voto ya emitido.
 - * **Fecha de inicio de escrutinio** : Normalmente, el escrutinio comenzará a continuación del cierre de mesas. El sistema debe estar preparado para que los miembros de la Autoridad Electoral den comienzo al escrutinio a través de la interfaz del sistema.

- * **Fecha de publicación de resultados** : El sistema debe permitir que los resultados sean publicados y difundidos en el momento en el que la Autoridad Electoral lo requiera, ya sea al término del escrutinio o con posterioridad.
- **Acreditación** : Con el carácter de prototipo de este proyecto, el sistema permitirá el voto solamente con la acreditación a través del DNI español, ya sea 2.0 ó 3.0, no estando permitido el voto remoto a través de este sistema con ningún otro tipo de acreditación, ya sea digital o no.

5.1.6. Requisitos no funcionales

- **Bajo coste** : El coste del sistema debe ser relativamente bajo. Teniendo en cuenta las características del cliente, una Escuela o Universidad y los potenciales desarrolladores del proyecto, estudiantes, es importante procurar que el espíritu del sistema a implementar se base en el bajo coste. Con este principio, se pueden ahorrar recursos económicos a la institución que podría destinar a otras necesidades. Por ello, se considera importante promover la utilización de software libre o sin licencia, así como reducir el número de responsables en la gestión del proceso electoral a nivel de control del sistema informático y la utilización de tecnologías hardware que reduzcan el desembolso de capital, como es la utilización de software de virtualización frente a la inversión en máquinas, mucho más costosas.
- **Soporte a usuarios** : El sistema debe proporcionar unas herramientas de soporte a usuarios de cualquier rol que hagan uso del mismo. Al ser un sistema de votación nuevo, diferente al tradicional y con una característica tecnológica por medio, es fundamental que se ofrezca soporte, tanto técnico como de procedimiento a los usuarios del sistema en la jornada electoral, ya sean votantes activos como responsables de la autoridad electoral, auditores u observadores del proceso. Hay que procurar que puedan disponer de la información y el soporte necesario para que todos puedan realizar sus funciones durante la jornada electoral sin problemas o, al menos, minimizándolos.

Como lo hice en dos documentos diferentes, al unificarlo, tengo partes repetidas. Hay que borrar los repetidos.

5.1.7. Necesidades del esquema de voto electrónico

- **Votación por Internet** : ~~El sistema de votación debe funcionar de forma remota en sus fases de registro, identificación, votación y consulta de resultados. Cualquier votante puede acceder a las funcionalidades del sistema a las que tiene autorización desde cualquier punto conectado a Internet.~~
- **Identificación remota** : El sistema debe implementar un mecanismo que sea capaz de asegurar la identificación de un votante en el sistema de forma remota, digitalmente, sin posibilidad de error. Existen varias soluciones para solventar este requisito, como son los certificados digitales electrónicos externos (contenidos en tarjetas de soporte físico como una smartcard, el DNI o la TUI de la Universidad), la identificación biométrica, acceso por usuario y contraseña con pasos extras para aumentar la seguridad.
- **Autenticación remota** : El sistema debe poder autenticar a los votantes que tratan de usar su identificación digital para ingresar en el sistema de forma remota. El sistema no debe errar en esta autenticación, permitiendo la entrada de los votantes autorizados y revocando el acceso a los atacantes, suplantadores o desautorizados. No sólo debe ser capaz de permitir que un votante pueda asegurar la veracidad de su identidad, sino que debe permitir la autenticación del mismo de cara al sistema y a la Autoridad Electoral.
- **Firma digital** : Para poder cumplir con el voto remoto, es necesario que el sistema permita el uso de la firma digital, ya que es una herramienta clave para poder verificar la identidad y autenticidad de un votante, así como la validez del voto que emite.
- **Permitir votación presencial** : El sistema debe proporcionar los mecanismos necesarios para facilitar el voto a aquellos votantes con derecho al mismo que quieran emitirlo de forma presencial en el periodo habilitado para ello. Este requisito trata de preservar la tradición de estos procesos electorales en los que se fijaba una fecha para el sufragio y se acudía a la urna. Así, del mismo modo, hay que adecuar una serie de equipos en los centros de votación habituales que, aunque estén conectados a Internet y el voto siga siendo remoto, permitan a los votantes que lo deseen hacer uso de su derecho al voto sin tener que salir de la Escuela.

ESTE
NO
CREO
QUE
DEBA
IR, YA
QUE
ES UN
RESU-
MEN DE
LOS SI-
GUIEN-
TES

(Analizando este requisito, la mejor forma es habilitando un horario en la sala de ordenadores de la Escuela destinados a que las personas que quieran puedan votar de forma remota desde estos puestos)

- **Disponibilidad total** : El sistema debe estar disponible para proporcionar servicio de voto durante todo el periodo estipulado en las normas que se fijen para la elección. Aunque el sistema entra en producción para llevar a cabo funciones que se realizan en la llamada fase preelectoral, el momento más crítico e importante se presupone que es la propia jornada electoral. El sistema debe estar preparado para su uso al comienzo de ésta y debe estar activo, accesible a los votantes y sin caídas durante la duración de la misma.
- **Voto anónimo** : Este es un requisito implícito del voto electrónico. Por ello, para el esquema de votación que se ha de utilizar es fundamental tenerlo en cuenta. Han de integrarse los protocolos criptográficos y de infraestructura necesarios para que nadie pueda vincular el contenido de un voto a un votante determinado.

ESTO QUIZÁ DEBERÍA QUEDARSE DIRECTAMENTE EN LOS REQUISITOS IMPLÍCITOS AL VOTO ELECTRÓNICO. DE HECHO, A PARTIR DE ELLOS Y PINCELADAS DE ESTA SUBSECCIÓN SE HAN DE SENTAR LAS BASES DEL ESQUEMA DE VOTO ELECTRÓNICO A IMPLEMENTAR

- **Papeleta/boleta digital** : El sistema debe mostrar al votante la papeleta o boleta (dependiendo del tipo de elección) correspondiente a la elección y el censo que le corresponda. Debe contener las opciones o candidatos entre las que puede seleccionar o elegir y mantener correctamente la/s opción/es seleccionada/s.
- **Voto múltiple**: El sistema debe permitir a los votantes votar más de una vez, invalidando cada vez que emite un voto, los votos anteriores que hubiese introducido en el sistema.

ESTO ES TEMPORAL. VOY A IR HACIENDO UNA LISTA DE REQUISITOS SEGÚN LOS VOY CONOCIENDO. ESTA LISTA ES EL BATIBURRILLO, CUANDO ESTÉN CLAROS, LOS VOY COLOCANDO EN SUS TIPOS CORRESPONDIENTES Y LOS DEFINIMOS FORMALMENTE SEGÚN LA PLANTILLA

5.2. Roles / Actores

Considerando el flujo del votante en el sistema, identificamos cuatro roles en el sistema que deben ser tenidos en cuenta de cara a las funcionalidades, privilegios y responsabilidades que tienen que encontrar en el uso del mismo.

- **Votante**

El votante es el actor principal del sistema, pues es al que va dirigido el proceso de votación. Es el único rol que tiene la capacidad de votar. Las acciones que puede realizar son:

- Consultar su presencia en el censo.
- Identificarse únicamente en el sistema.
- Elegir la papeleta con su voto.
- Capacidad de poder emitir un voto nulo.
- Firmar el voto.
- Votar preservando el carácter anónimo del voto.
- Consultar que su voto ha sido contabilizado.
- Auditarse el correcto escrutinio de la elección.

• Administrador

El administrador es el rol encargado de gestión de las fases electorales.

Tiene responsabilidad y potestad de:

- Iniciar el proceso electoral.
- Iniciar el proceso de votación.
- Terminar el proceso de votación.
- Apertura de la urna
- Inicio del escrutinio
- Apertura de los canales de difusión de resultados.
- Finalizar el proceso electoral.
- Designar los trustees de la elección.

Los usuarios con este rol no puede votar. El administrador de la elección no forma parte del censo de votantes acreditados para votar en las elecciones, por lo que no puede tener acceso al módulo de votación.

• Miembro de la Junta Electoral

Una vez el administrador de la elección dé por finalizado el proceso electoral, se requerirá que varios miembros de la Junta Electoral proporcionen unas claves personales que, juntando varias de ellas, servirán como llave lógica para la apertura de la urna que contiene los votos.

CAMBiar
EL
NOM-
BRE de
miembro
de la
Junta
Electoral

Los usuarios con este rol no pueden votar. El miembro de la Junta Electoral no forma parte del censo de votantes acreditados para votar en las elecciones, por lo que no puede tener acceso al módulo de votación.

Teniendo en cuenta la organización de Helios, los miembros de la Junta Electoral que tenemos aquí son los trustees del sistema original de Adida.

- **Auditor**

El auditor debe tener acceso a una serie de funcionalidades del sistema. Su función es velar porque el desarrollo del proceso electoral se realiza sin ningún tipo de fallo o de interferencia por parte de algún atacante.

Los usuarios con este rol no pueden votar. El auditor no forma parte del censo de votantes acreditados para votar en las elecciones, por lo que no puede tener acceso al módulo de votación.

Su misión es de control, por lo que ninguna acción que realice en el sistema puede afectar al desarrollo de la elección.

- **Autoridad Certificadora**

Junto con los cuatro roles expuestos, encontramos un quinto actor en la figura de la Autoridad Certificadora. Esta entidad es la encargada de generar, administrar, validar y verificar las credenciales que han de usar cada uno de los votantes para emitir el voto, así como los de cada uno de los actores del proceso (administradores, miembros de la Junta Electoral, auditores o incluso los sistemas y sus comunicaciones).

Al hacer uso del DNle para la identificación y firma del votante, en estas fases, es la Dirección General de la Policía, dependiente del Ministerio del Interior, la que actúa como Autoridad de Certificación, combinando dos pares de claves con un ciudadano concreto a través de la emisión de sendos Certificados de conformidad con los términos de la Declaración de Prácticas y Políticas de Certificación (DPC) [17] [18] que rige el funcionamiento y operaciones de la Infraestructura de Clave Pública de los Certificados de identidad pública y firma electrónica del Documento Nacional de Identidad (DNle).

- **Trustee**

Es necesario una serie de actores en el proceso, los llamados Trustees por Helios Voting. Estos actores, que también pueden formar parte de los anteriores grupos de actores, en especial los miembros de la Junta Electoral,

son los encargados de custodiar un trozo de la clave secreta que el sistema necesita para la fase de escrutinio. Helios necesita una clave

Al utilizar Helios, falta la figura del Trustee

Los usuarios cuyo rol sea Votante son los únicos que tienen capacidad para poder votar en la elección. Hay usuarios que pueden ejercer varios roles en el sistema. Tanto un Administrador como, sobre todo, un Miembro de la Autoridad Electoral, perteneciendo a la Universidad pueden tener derecho al voto. En estos casos, para mantener la transparencia y fiabilidad del proceso, las personas que ejerzan estos roles, a la hora de votar deberán hacerlo accediendo al sistema con un usuario distinto, con un rol asignado de Votante, garantizando que no pueden acceder con éste a ningún otro módulo del sistema. Se entiende que los roles de Auditor e de Observador están destinados a personas ajenas a la votación que tienen como objetivo vigilar y asegurar que la elección se lleva a cabo de forma limpia y correcta. Por ende, se entiende que las personas con usuarios asociados a estos roles no deben acceder al sistema de votación en ningún caso, además de que no deberían aparecer acreditados en el censo electoral.

PLANTILLA PARA PROYECTO DE FIN DE GRADO (Universidad de Cádiz) Propuesta de REDiris

5.3. Modelo Conceptual

A partir de los requisitos de información, se desarrollará un diagrama conceptual de clases UML, identificando las clases, atributos, relaciones, restricciones adicionales y reglas de derivación necesarias.

5.4. Modelo de Casos de Uso

A partir de los requisitos funcionales descritos anteriormente, se emplearan los casos de uso como mecanismo para representar las interacciones entre los actores y el sistema bajo estudio. Para cada caso de uso deberá indicarse los actores implicados, las precondiciones y postcondiciones, los pasos que conforman el escenario principal y el conjunto de posibles escenarios alternativos.

5.4.1. Actores

En este apartado se describirán los diferentes roles que juegan los usuarios que interactúan con el sistema. Los actores pueden ser roles de personas físicas, sistemas externos o incluso el tiempo (eventos temporales).

5.5. Modelo de Comportamiento

A partir de los casos de uso anteriores, se crea el modelo de comportamiento. Para ello, se realizarán los diagramas de secuencia del sistema, donde se identificarán las operaciones o servicios del sistema. Luego, se detallará el contrato de las operaciones identificadas.

5.6. Modelo de Interfaz de Usuario

En esta sección se deberá incluir un prototipo de baja fidelidad o mockup de la interfaz de usuario del sistema. Además, es preciso elaborar un diagrama de navegación, reflejando la secuencia de pantallas a las que tienen acceso los diferentes roles de usuario y la conexión entre éstas.

He eliminado los diagramas que tenía porque ya no se corresponden con el nuevo sistema.

5.7. Esquema de Voto Electrónico

5.8. Helios Voting

He movido esta sección desde Planteamiento a Análisis porque creo que es donde debo comentar qué sistema hemos elegido para adaptar y los motivos que nos han llevado a ello.

Tras el estudio de varias soluciones ya implementadas y de una solución diseñada desde cero, he decidido usar un sistema ya desarrollado como base para el diseño de la solución que lleve a cabo el proceso electoral en la Escuela.

Los motivos que se han tenido en cuenta para seleccionar un desarrollo de terceros frente a uno propio son los siguientes:

- Para mantener la fiabilidad de un sistema de voto por Internet es fundamental una buena base criptográfica y unos protocolos cimentados en sólidos procesos matemáticos. Este concepto tan crucial he preferido delegarlo en el sistema Helios Voting, diseñado Ben Adida¹, doctor en Ingeniería Informática en Criptografía y Seguridad de la Información por el MIT² (Massachusetts Institute of Technology). Además, el creador del sistema fue asesorado³ directamente por profesionales con muchísima experiencia

¹<http://ben.adida.net/>

²<http://mit.edu/>

³<https://vote.heliosvoting.org/about>

acreditada en conceptos tales como el voto electrónico y criptografía como pueden ser Lessig, Benaloh⁴ o Rivest⁵, entre otros. Con esta carta de presentación, se observa que el nivel de protocolos criptográficos tiene un amplio sustento académico detrás. Igualmente, existen multitud de artículos en los que se presentan, estudian y discuten los protocolos criptográficos del sistema Helios Voting en sus diferentes versiones. Incluso en muchos de estos artículos se ofrecen alternativas a distintos elementos para aumentar la seguridad del sistema o para introducir alternativas a sistemas de voto pero manteniendo la máxima seguridad para que el sistema siga siendo E2E-verificable.

- Helios es un sistema de voto por Internet basado en desarrollo de código abierto. Está escrito en Python, utilizando Django como framework de desarrollo. Esta filosofía de software libre permite que el código pueda ser reutilizado y modificado para adaptarlo a las necesidades de la Escuela. Además, el lenguaje utilizado es bastante potente y la facilidad de integración con los recursos que provee la Escuela es un punto importante que se ha tenido en cuenta.
- El proyecto Helios Voting está activo, con desarrolladores implicados, incluso con forks en Github proponiendo alternativas o soluciones. Por ejemplo, proyectos como Ágora Voting (2.4.2) nacieron a partir de un fork de Helios Voting, aunque actualmente han virado hacia otros protocolos criptográficos como base de su solución.
- Según algunos informes [9] desarrollados estudiando una experiencia real del sistema, Helios Voting es un ejemplo de sistema electoral por Internet E2E-verificable y lo reconocen como un “*estándar en verificabilidad de voto por Internet*”. Proporciona al proceso electoral todas las garantías que aporta la verificabilidad E2E, como la capacidad de observar pruebas de conocimiento cero no interactivas que verifican que cada voto fue incluido correctamente y que el escrutinio completo fue computado con precisión.
- Una de las debilidades de Helios Voting es que el protocolo en el que se basa no es efectivo ante la coerción. Por ello, su propio desarrollador indica que es un sistema pensado para elecciones con bajo riesgo de coerción. Las elecciones a llevar a cabo en la Escuela Politécnica Superior cumplen

⁴<http://research.microsoft.com/~benaloh/>

⁵<http://people.csail.mit.edu/rivest/>

con esta propiedad, pues el riesgo de que se intente coartar a algún votante es mínimo.

- Los votos cifrados no se desencriptan. Gracias a que su protocolo criptográfico se basa en el **cifrado homomórfico aditivo**, no es necesario que sean desencriptados para realizar el escrutinio, por lo que protegen la privacidad de cada votante.
- Buscando alguna solución para implementar identificación de usuarios de la EPS, ya provee de mecanismos como OAuth, que puede ser modificado para utilizar el DNle como herramienta de acceso seguro a la web, o sistemas como el CAS utilizado en las elecciones de la Universidad Católica de Lovaina, que podría servir de base a un sistema de acceso basado en las cuentas de usuario de los estudiantes de la EPS. Son frameworks que no valen tal cual están implementados, pero que permiten una posibilidad de modificación muy interesante para implementar nuevos sistemas de acceso basados en las necesidades de la EPS.

No me gusta nada cómo está redactado esto ni me parece que esté en el sitio correcto. Cambiar.

5.8.1. Fases de la elección en Helios

Una elección con el sistema Helios Voting se desarrolla a través de una serie de fases o acciones.

Identificación usuario / login El primer paso del protocolo es la identificación del usuario para ingresar al sistema. Helios propone varios tipos de servicios de login. Desde el basado en usuario/contraseña contra base de datos, hasta los que utilizan servicios OAuth contra servidores de autenticación de terceros, como Facebook, Google o Yahoo!.

Crear elección El primer paso funcional es la creación de la Elección. Corresponde al administrador crear la elección. Para ello, puede poner el nombre y descripción del Proceso, seleccionar si es una elección al uso o un referéndum, si se usan los nombres de los votantes o pseudónimos, si se presentan los nombres de los candidatos a cada votante en orden aleatorio y si la elección es privada para los votantes registrados o abierta a cualquier votante.

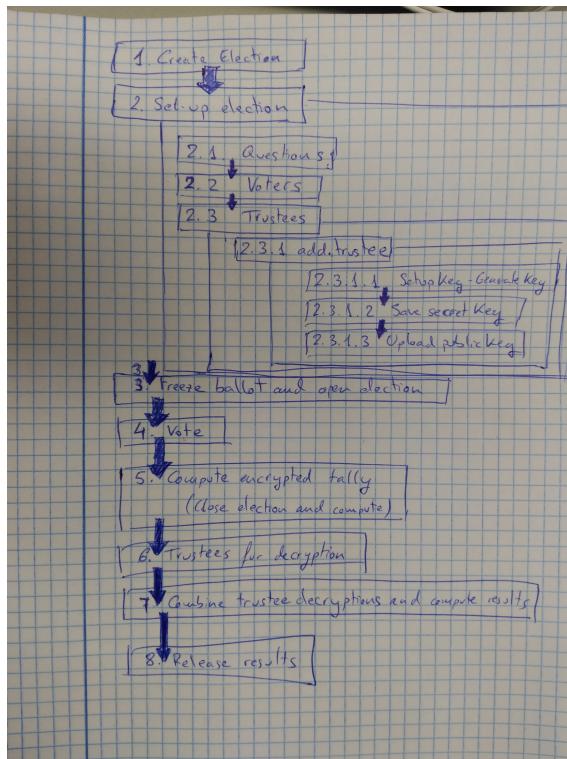


Figura 5.1: Fases de una elección en Helios Voting

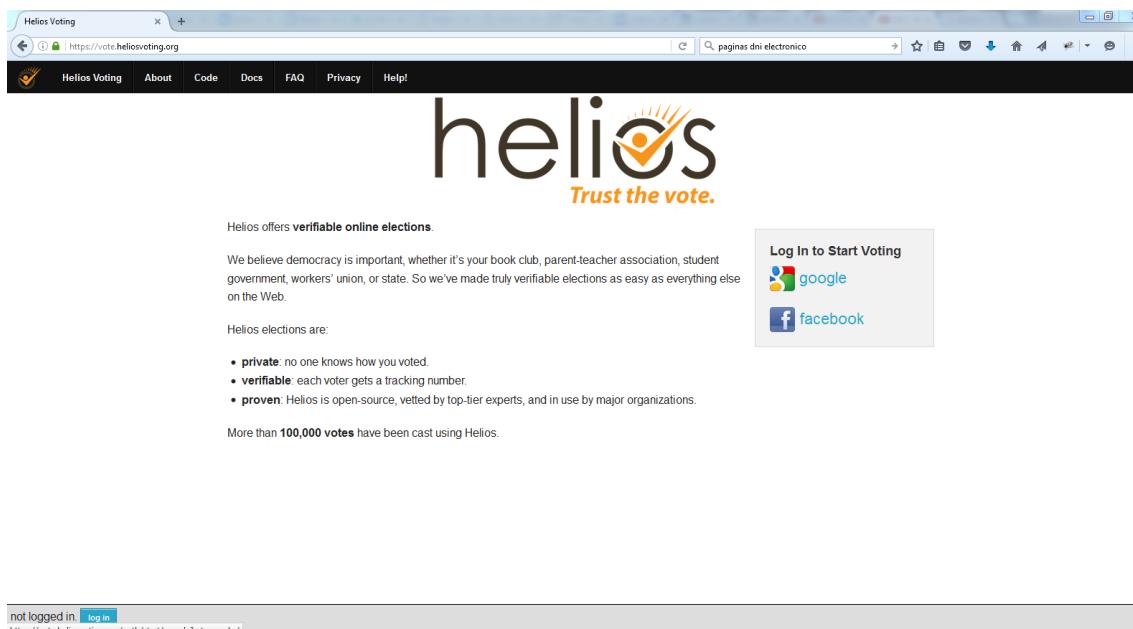


Figura 5.2: Fase de Login en Helios Voting

Preparar la elección Antes de abrir el proceso de votación hay que preparar la elección. Para ello hay tres elementos que requieren ser inicializados.

Preguntas Helios funciona a base de preguntas al electorado. Con una elección creada, el primer paso debería ser formular dichas preguntas

The screenshot shows the 'Create a New Election' page of the Helios Voting system. The form has the following fields:

- Short name:** Elección_de_prueba
- Name:** Elección de prueba
- Description:** Una elección para probar la funcionalidad de Helios Voting.
- Type:** Election (selected)
- Use voter aliases:** If selected, voter identities will be replaced with aliases, e.g. "V12", in the ballot tracking center.
- Randomize answer order:** enable this if you want the answers to questions to appear in random order for each voter.
- Private?** A private election is only visible to registered voters.
- Help Email Address:** carlosjimenezgomez@gmail.com

At the bottom left is a 'Next >>' button, and at the bottom right is a user status bar: 'logged in as Carlos Jiménez Gómez' with a 'logout' link.

Figura 5.3: Fase de creación de una elección en Helios Voting

y sus posibles respuestas, así como si es multiselección o de elección simple.

Censo de votantes Es necesario incluir un censo de votantes o permitir una votación abierta. En el caso del censo, Helios permite hacer cargas de ficheros csv con la información del votante (id, email y nombre). También permite que cualquiera pueda emitir un voto.

Trustees En voto electrónico, es necesario tener entidades de las que poder fiarse para el correcto funcionamiento de la elección. Como es complicado que exista una entidad externa que cumpla con los requisitos, esto se emula utilizando varios trustees. Básicamente, los trustees son entidades fiables que es difícil que se puedan poner de acuerdo entre sí para falsear la elección. Estas entidades combinan sus claves públicas y privadas para formar la clave pública y privada de la elección a utilizar en la encriptación de los votos y la desencriptación del resultado del escrutinio. En Helios, el propio sistema es un trustee, suficiente para llevar a cabo los procesos criptográficos en caso de que no se defina ninguna entidad o usuario confiable adicional.

Setup key - generate key

Save secret key

Upload public key (verify private key)

Congelar papeleta y abrir la elección**Votar****Compute encrypted tally** (close election and compute)**Trustees for decryption****Combine trustee decryption and compute results****Difusión de resultados**

5.8.2. Auditorías

Las auditorías son procesos fundamentales para la fiabilidad de un sistema de voto por Internet. En este caso vamos a introducir aquellas que, usando pruebas de conocimiento nulo (2.5.3), permiten comprobar el correcto funcionamiento de cada proceso de la elección.

Durante el período de votación, tanto el votante como entidades externas pueden realizar una serie de pruebas o auditorías para confirmar el correcto estado del proceso. Estas auditorías se realizan a distintos niveles dependiendo del actor que desee realizarlas, así los votantes pueden realizar auditorías de correctitud de su voto emitido, mientras que auditores externos no pueden llevar a cabo estas comprobaciones. Sin embargo, tanto los primeros como los segundos pueden realizar una auditoría al escrutinio.

La interfaz de usuario de Helios posee una zona dedicada a las pruebas de auditoría. En ellas, según se va avanzando en la Elección, van apareciendo enlaces e instrucciones según se pueden comenzar a realizar pruebas a diferentes elementos del sistema.

Las auditorías de procesos que permite Helios Voting durante el proceso de votación:

Verificación de la papeleta (antes de votar) El sistema permite verificar una papeleta cifrada previamente a su sufragio. La papeleta verificada no será la que se utilice para votar y no será, por tanto, contada sino que, por medidas para combatir la coerción, habrá que volver a encriptarla de nuevo cuando se quiera emitir el voto.

Una vez el votante está en la cabina de voto virtual y ha encriptado sus opciones de voto, el sistema permite realizar una verificación para asegurarse de que la encriptación de estas ha sido correcta. Para ello, el sistema presenta al votante la información para auditar su papeleta (ballot audit info). Este texto es el que debe copiar el votante para utilizar en la herramienta de verificación de papeletas. En ésta, se incluye dicho texto y la URL de la elección datos suficientes para realizar la verificación.

Poner aquí qué significa esta información

Explicar en qué consiste la verificación. IMPORTANTE y delicado. Valorar.

Una vez hemos auditado nuestro voto, tenemos la posibilidad de publicar la papeleta auditada en el *Helios tracking center*, permitiendo a otras entidades realizar una doble comprobación de la verificación de la papeleta.

Lista de papeletas auditadas Como hemos avanzado en el punto anterior, en el momento de realizar la votación, el votante puede realizar una verificación del contenido encriptado de su papeleta. El sistema le permite, una vez realizada la comprobación, publicar esta *papeleta abierta* en un tablón con una lista de papeletas auditadas. En cualquier momento de la elección, cualquier usuario, sea votante o no, puede acceder a esta lista y realizar la misma verificación sobre las papeletas ahí publicadas. Estas papeletas, no obstante, no son las que se han utilizado para emitir el voto, pues ya se ha comentado que una vez el votante la *abre* para su verificación, ha de reencriptar su voto para *meterlo en la urna* definitivamente.

Auditoría del escrutinio Una vez se ha realizado el escrutinio, el sistema permite a los observadores interesados, realizar una prueba para verificar la veracidad del resultado.

Es necesario comentar en qué consiste la auditoría del escrutinio.

5.8.3. Protocolo criptográfico

Otra de las piedras angulares en las que se debe basar un sistema de votación por Internet es en su protocolo criptográfico y en las primitivas que utiliza, base para poder argumentar la fiabilidad de los procesos que se realizan.

Helios Voting basa su seguridad criptográfica en un protocolo de cifrado homomórfico (2.5.5).

El voto se encripta en el navegador del cliente utilizando una implementación del algoritmo de ElGamal Exponencial realizada en Javascript.

Como se ha explicado en 2.5.5.1 las propiedades de un cifrado homomórfico implican que el cifrado del producto de dos mensajes (números) se corresponda con el producto de ambos mensajes cifrados.

El algoritmo de ElGamal es un algoritmo de cifrado homomórfico. Pese a ser bastante interesante, existe otra aproximación al problema, con el cifrado homomórfico exponencial. De este tipo el algoritmo de ElGamal Exponencial. Con este algoritmo se puede obtener una relación entre la suma de dos mensajes cifrados y el cifrado de la suma de dos mensajes. Se basa en la elección de un número grande usado como generador, el cual usa el mensaje como exponente. El producto de dos generadores elevados exponencialmente cada uno a un mensaje y cifrados es igual que el cifrado del generador elevado a la suma de los dos mensajes.

Aplicando estas propiedades al voto electrónico podemos inferir que cifrando los votos de cada votante, se puede obtener el cifrado de la suma de todos ellos. Una vez se obtiene, si se descifra, se obtiene el resultado totalizado de los votos. Es decir, que se pueden cifrar los votos y conseguir obtener la suma de ellos sin violar el secreto de cada voto individual.

Esto se quedó a la mitad... :S

5.8.4. Identificación

Una vez visto el sistema sobre el que basar los procesos electorales que hemos de llevar a cabo en la EPS, es el momento de implementar modificaciones en el mismo.

En primer lugar, el cambio más importante es el que se refiere a la identificación de votantes.

En Helios, de forma nativa, los sistemas que permiten la entrada de votantes al sistema son usuario/password y una serie de servicios OAuth de terceros, incluyendo Facebook, Twitter, Google y Yahoo!.

Existe una modificación especial para las elecciones de la Universidad de Lovaina en la que se implementó un sistema CAS contra la base de datos de

alumnos de la Universidad. Con este sistema, los usuarios se podían logar en el sistema con la identificación de la Universidad y contra un servicio que ésta brindaba, es decir, que el control de entrada de usuarios se delegaba en la Universidad y se confiaba en su sistema a la hora de proporcionar roles y permisos a los usuarios del sistema.

Para las Elecciones en la EPS, podría llegar a valorarse este sistema CAS, modificándolo para adecuarlo a la infraestructura digital de la Universidad. Pero no es uno de los objetivos de este PFC, teniendo en cuenta la idea de utilización del DNle 3.0 y la necesidad de limitar la interacción con la Universidad por el acceso a sus sistemas.

0—————

La primera idea para integrar el DNle en el sistema Helios consistía en realizar un acceso seguro, por SSL, que requiriese autenticación por el DNle, del mismo modo que la mayoría de las webs de la Administración pública.

Para llegar a esta implementación, era necesario modificar el sistema de login de Helios, así como el servidor sobre el que corre.

Hubo que configurar el servidor para que éste requiriese el establecimiento de un canal seguro SSL a través de los certificados del DNle. Para ello, hay que modificar la configuración del servidor Apache sobre el que corremos el proyecto Django sobre el que se implementa Helios Voting.

Una vez configurado el canal HTTPS, había que implementar un módulo de login que pidiese al usuario el DNle. Para esto existe un applet de java que proporciona la Dirección General de la Policía que cumple con el cometido.

Con estas implementaciones somos capaces de que un usuario intente acceder al sistema de votación, este le pedirá las credenciales del DNle para validarlas y establecer un canal SSL seguro con el servidor. A través del canal seguro establecido, el applet presenta las credenciales del usuario por medio del certificado privado del DNle, previa consulta al usuario del PIN correspondiente. Con las credenciales que recibe el sistema de login, se le puede conceder o denegar acceso al usuario identificado

El Ministerio del Interior de España⁶, a través de la Dirección General de la

⁶<http://www.interior.gob.es/>

Policía, es el órgano encargado de la gestión y desarrollo del DNI electrónico⁷. Por tanto, además de ser los responsables del control y la emisión de estas credenciales, son los responsables de desarrollar las APIs y documentación para que los desarrolladores puedan utilizar los certificados digitales que llevan en aplicaciones o servicios prestados por terceros.

En el caso del DNIE 3.0, en el área de descargas⁸ de la web de la DGP han publicado el código fuente de tres aplicaciones Android y su respectiva documentación para dar una muestra de cómo implementar apps que hagan uso del certificado NFC que trae como novedad este documento.

Estas tres aplicaciones compartidas se centran en las tres funcionalidades que aporta este chip:

Aplicación Android de Lectura: Código fuente de una aplicación que permite a un dispositivo Android con un sensor NFC el leer los datos públicos del chip NFC del DNI electrónico.

Aplicación Android Autenticación: Código fuente de una aplicación que permite a través de un dispositivo Android el poder autenticarse contra un servidor con las credenciales digitales que integra el chip NFC en el DNI electrónico.

Aplicación Adroid Firma: Código fuente de una aplicación que permite la firma de documentos u otro tipo de objetos digitales con el certificado digital personal privado que ofrece el DNIE a través de software en dispositivos Android gracias a la tecnología sin contacto NFC.

El sistema Helios Voting permite votar en unas elecciones desde un navegador web. El objetivo es que también podamos hacerlo desde un smartphone a través de una app que nos permita votar desde cualquier punto con conexión a Internet, por lo que hay que valorar la mejor opción para ello.

La primera opción es utilizar, como se suele hacer desde un computador de escritorio, un navegador web.

Una primera prueba que se realizó fue tratar de autenticarse en una web a través del DNIE.

⁷<http://www.dnielectronico.es/PortalDNIE/>

⁸http://www.dnielectronico.es/PortalDNIE/PRF1_Cons02.action?pag=REF_1120

Al entrar en la Sede Electrónica de la Agencia Tributaria, para consultar los expedientes es necesario facilitar certificados digitales para poder ser identificado y autenticado contra el sistema. Al intentar abrir la página, Google Chrome nos muestra un aviso

Captura de pantalla del móvil donde pide los certificados

en el que nos indica que no se han encontrado los certificados. Incluso nos ofrece la posibilidad de instalarlos. Podríamos dirigirnos a la web de la FNMT⁹ y gestionar la emisión de un certificado digital, que podríamos descargar y utilizar como identificación digital de la misma forma que lo podemos hacer con el DNIe. De todos modos, la obtención de este certificado por parte de la FNMT requiere de un paso en el que el usuario ha de personarse físicamente en una Oficina de Registro para acreditar su identidad. Con este certificado instalado en el almacén de certificados de Google Chrome se podría gestionar la identificación contra la web a la que tratamos de acceder, pero hemos decidido no continuar por este camino porque es necesario realizar trámites extras que no consideramos necesarios frente a la facilidad de obtener el DNIe.

Implementando algún tipo de soporte de autenticación por DNIe en Helios y tratando de acceder desde el móvil a través del navegador, nos encontraríamos este problema. Chrome, o el navegador que utilicemos, no tiene los certificados digitales cargados en su almacén de certificados.

— Otro camino de investigación se basa en la app de Autenticación publicada por el Ministerio del Interior a través de la Policía.

En esta, se implementa un ejemplo a través del cual se pueden realizar varios trámites de consultas contra la web del Ayuntamiento de Madrid. Concretamente, permite las consultas:

- Tributos
- Gestión de multas
- Datos censales
- Expedientes

⁹<https://www.sede.fnmt.gob.es/certificados/persona-fisica/obtener-certificado-software>

El funcionamiento es sencillo. Una vez se abre la app, aparece un menú con las gestiones que se pueden realizar.

Por ejemplo, pulsamos sobre Consulta de los datos censales.

La siguiente pantalla que nos aparece es una en la que se nos requiere que introduzcamos el CAN (Card Access Number) que podemos ver en el anverso del DNIe físico en la zona inferior derecha. Este identificador es un número de 6 dígitos que se utiliza para establecer un canal cifrado PACE entre el DNIe y el dispositivo. Como indica la documentación proporcionada por los desarrolladores el canal PACE (Password Authenticated Connection Establishment) es obligatorio para establecer esta conexión cifrada, pero en ningún caso reemplaza al código PIN de acceso a los certificados ni da permisos de uso de las claves de firma y/o autenticación del ciudadano. Se trata de una medida de seguridad extra para evitar que un tercero pueda realizar lecturas de datos públicos sin conocimiento del dueño del DNI.

En caso de haber introducido previamente el código CAN en la app, éste se puede visualizar en un listado seleccionable para que no haga falta que el usuario tenga que introducirlo cada vez que quiera utilizar los certificados.

Una vez introducido el CAN, la siguiente pantalla nos pide que acerquemos el DNIe 3.0 al dispositivo.

Es en este momento cuando se produce la comunicación entre dispositivo y el chip de radiofrecuencia, permitiendo el paso de respuestas y comandos entre ambos.

Una vez se realizan las operaciones básicas de lectura de certificados, la app solicita el PIN del DNIe al usuario. Con este PIN, se autentica al usuario contra el DNIe y concede permisos de acceso a las claves. A partir de este momento, todas las comunicaciones entre DNIe y dispositivo van cifradas.

Falta el tipo de cifrado, que en la documentación no aparece

El usuario puede a partir de aquí realizar las operaciones que requieren sus claves, como puede ser la firma de documentos o, la que buscamos para el sistema Helios, establecer una conexión segura con el servidor prestador de servicios, entre otras.

Siguiendo con la app de ejemplo, a continuación nos conecta con el servicio de datos censales del Ayuntamiento de Madrid y nos muestra nuestros datos

censales en caso de una conexión correcta.

En principio es una muy buena opción para implementar para el sistema de votación. Permite establecer un canal seguro con una autenticación fiable a través de los certificados del DNIe.

Al final lo que obtenemos es la web empotrada dentro de un WebView¹⁰ creado por la aplicación.

Después multitud de pruebas y de bucear en foros sobre seguridad digital, certificados digitales, DNIe y Adroid, resultó haber un problema bastante importante con esta aproximación.

Partamos de la base de la correcta configuración del servidor y login a través de certificados del DNIe. La prueba de la correcta configuración residía en que era posible acceder al servicio, e incluso llegar a emitir un voto, utilizando el DNIe (tanto 2.0 como 3.0) en un PC, utilizando el chip de contacto y utilizando un navegador como el Mozilla Firefox.

Demostrado que era factible esta arquitectura, se intentó desde una versión modificada de la app original de la Policía. En ella, se ajustó el certificado que espera el servidor, así como el link al que tiene que dirigirse tras el login.

Al realizar las pruebas, se observaba que era posible logarse en el sistema, la app incluso lo mostraba por pantalla en el WebView anteriormente citado. Pero el problema es que realmente la lógica de la app de la Policía no funciona como la de un navegador al uso.

El funcionamiento es el de peticiones simples estilo REST. Es decir, establece la conexión con el servidor autenticándose con los certificados del DNIe y realizando una llamada a una URL concreta. Esta le devuelve la información requerida y la app construye un WebView y *pinta* el HTML recibido en el WebView.

Esto, para las funciones de la aplicación de ejemplo cumple con su cometido, pero en nuestro caso no es así, pues si la página que devuelve el servidor contiene links (que tendrá que ser así para poder interactuar con la web) la gestión de los certificados no se mantienen. En este caso, no podemos navegar con la conexión HTTPS establecida.

El elemento WebView de Android todavía no es capaz de soportar este tipo de funcionamiento. No es posible, en la primera conexión con el DNIe almacenar

¹⁰ <https://developer.android.com/reference/android/webkit/WebView.html>

las claves en el almacén del navegador para poder reutilizarlas en siguientes peticiones.

Ante este problema, no es posible continuar con la forma de trabajar de la app de la Policía.

La opción que se plantea es más radical. Plantear la web del sistema como un servicio REST. Helios funciona casi en su mayoría tratando mensajes JSON como paso de información entre sus distintas fases, por lo que se podría modificar el frontend para responder a peticiones REST. Con este nuevo enfoque, se podría implementar una app Android nativa que tuviese todas las opciones que aparecen en la web y que para su funcionamiento realizará peticiones a la web. La información que recuperaría, en lugar de ser HTML que muestra en un WebView embebido, como ocurre en la app de la Policía, serían objetos JSON con la información requerida. Obviamente, para cada llamada habría que reutilizar la técnica que se ha descrito en el paso anterior, por la cual se puede realizar una llamada HTTP acoplando las claves del certificado para autenticarse contra el servidor.

El problema de esta solución es que pasamos de un sistema web ya existente a una implementación del sistema para Android, junto con la reimplementación de la web para que soporte tanto votación navegando por ella como por llamadas REST.

Además, Helios realiza el cifrado de los votos con un módulo de Javascript, delegando en el cliente la carga de las operaciones criptográficas. Esta propuesta requiere también reescribir los módulos criptográficos en Java, con el aumento del riesgo y la necesidad de pruebas intensivas para asegurar el correcto funcionamiento de un módulo que ya está implementado y probado.

Quizá es el futuro a seguir por el sistema, pero requiere tiempo y recursos no planificados.

En la búsqueda de una solución que no comprometiese la viabilidad del proyecto, se pensó en una intermedia a las anteriores.

Las llamadas a Helios, por lo comprobado, teniendo que mantener el canal HTTPS cifrado con el DNIe, deben ser contra un servicio que tenemos que *repintar* en un WebView y que, en caso de querer navegar una vez establecida la conexión, hay que volver a realizar la llamada con los certificados y volver a crear el WebView. Es decir, que no es la navegación natural que se busca. Tampoco es

viable implementar una app de voto, ya que teniendo la web se podría reutilizar esta desde el móvil.

Entonces, aparece el concepto de autenticación delegada. Los desarrolladores de Helios han implementado módulos de OAuth para ingresar al sistema autenticándose con sus cuentas de Facebook, Google o Yahoo!, o un módulo CAS para hacer lo propio con las credenciales de la Universidad de Lovaina. Del mismo modo, se podría implementar un sistema de autenticación delegada basado en el DNIe.

La idea sería la de tener dos servidores diferenciados. Por un lado el del sistema de votación y por otro el servidor de autenticación.

El usuario, al intentar entrar en el sistema de votación es redirigido al de autenticación. Contra este ha de identificarse el usuario con el DNIe. Si la autenticación es correcta, el servicio de autenticación otorgará permisos de acceso al usuario en el servicio de votación y será redirigido de nuevo a este. A partir de este momento, el usuario, con permisos de accesos, podrá operar en el sistema de votación autenticado de forma segura.

Con este planteamiento, para votar desde el móvil o desde el PC no tiene mucha diferencia. En ambos casos se accede desde el navegador a la página principal de la Elección. Aquí se pulsa el enlace de autenticación por DNIe. La diferencia principal se observa en este momento:

PC: Desde el PC, el usuario será redirigido al servicio de autenticación y, si el PC tiene correctamente configurados los drivers del DNIe, aparecerá un applet a través del cual se le solicita que introduzca el documento en el lector y, posteriormente, la clave.

Smartphone: Por su parte, desde Android, el enlace de login en vez de redirigir a otra web, lanzará un *intent* de Android en con el que se abre una aplicación Android (si no está instalada, se redirige a la web o *market* desde la cual puede instalarse). Con esta aplicación se realizan las llamadas necesarias al servicio de autenticación y se accede a los certificados del DNIe a través del protocolo NFC. Una vez que el servicio de autenticación gestiona entre el dispositivo y el servidor de votación la validez del usuario, la aplicación se cierra y devuelve al usuario al navegador pero ya logado en el sistema y con una conexión HTTPS segura.

A partir de este momento, tanto en PC como en Smartphone, el usuario estaría ya logado con seguridad en el sistema y podría comenzar a operar con el sistema de votación.

5.8.5. Adaptación a dispositivos

Helios es un sistema que se comenzó a desarrollar alrededor de 2008. En aquel momento, el boom de los dispositivos móviles no estaba en un punto tan álgido como en los últimos años. El desarrollo se dirigió, por tanto, al mundo de la web del momento, centrada en los dispositivos con pantallas de cierto tamaño.

Un vistazo a la web estándar de Helios Voting¹¹ muestra que es *responsive* en cierta medida. Da la sensación de serlo, aunque realmente no está diseñada para ello.

Los textos se observan muy apelmazados y ajustados a los bordes de la pantalla de un dispositivo del tamaño de un smartphone.

Más aún, si accedemos a la urna virtual, ya sea para votar o para auditar un voto, se puede ver cómo la web pierde su resolución y deja de cumplir con las características de una web *responsive*, con la consecuente dificultad de navegación.

Con el objetivo del voto por Internet en el horizonte, esta incapacidad de adaptar la web a dispositivos portátiles pasa a ser un detalle a tener muy en cuenta. Lo ideal es que la web del sistema al completo sea *responsive*, además sería muy valorable que cumpliese los estándares¹² que marca el consorcio W3C¹³, así como el mayor número posible de reglas de accesibilidad sin comprometer la funcionalidad ni la simplicidad de interacción con el usuario.

Para ello, se puede introducir una serie de librerías que faciliten la transformación de la web para ser adaptada a la visualización desde pantallas de dispositivos móviles: Entre ellas se destacan Bootstrap, Modernizr ...

Continuar con la migración a responsive web

¹¹<http://www.heliosvoting.com>

¹²<https://www.w3.org/standards/webdesign/mobilweb>

¹³<https://www.w3.org/>

5.8.6. Votación

La fase de votación, en la que en un sistema tradicional un votante introduce su voto en la urna junto a los votos del resto de votantes es uno de los derechos fundamentales que un ciudadano tiene en un estado de derecho. Es, además, el derecho que más iguala a los ciudadanos, pues (interpretaciones de la Ley D'Hont o del peso de cada circunscripción en la Ley Electoral vigente aparte) cualquier persona, independientemente de su condición sexual, social, económica, religiosa, etc. se corresponde con un voto. Una vez hemos votado, todos los votos tienen el mismo valor.

Es la parte central de cualquier sistema de votación.

Teniendo en cuenta los criterios sobre los que se basa el voto electrónico, esta fase debería cumplir una serie de propiedades inherente al mismo.

Introducir aquí las características del voto por Internet que aplican a la fase de votación, ya sea por Fujioka, la UNEX u otro autor.

A la hora de diseñar el protocolo de un sistema de votación, uno de los puntos más importantes es el de decidir si el voto debe ser único. Hay que valorar qué es lo más adecuado para el protocolo, si un votante puede emitir tantos votos como quiera, validando tan sólo uno de ellos y rechazando el resto. O si, por el contrario, el votante debería ejercer su derecho al voto tan sólo una vez y deberíamos asegurar que no hay posibilidad de que pueda volver a hacerlo.

La posibilidad de permitir al votante emitir su voto más de una vez proviene, en parte, de la necesidad de proteger al votante frente a la coerción por parte de un tercero. En caso de ser coaccionado a votar por un candidato, siempre tendrá la posibilidad de volver a emitir un nuevo voto que invalide el anterior mientras esté abierto el período electoral. Este mecanismo, unido con la carencia de un recibo que demuestre el contenido del voto válido emitido, hace muy complicado que un coaccionador pueda llevar a cabo su fraude electoral, pues es muy complicado que pueda conseguir que el voto que coacciona sea el último emitido por todos y cada uno de los votantes que necesita para cambiar el resultado electoral.

Aquel
que
coac-
ciona es
un ... ?

Por otro lado, sin embargo, otras corrientes entienden que para que un votante pueda votar varias veces, invalidando por el camino los votos intermedios es necesario que, durante un período del proceso electoral, estén almacenados en el sistema un par voto-votante. Esto es así porque si un votante emite un voto, cuando quiera volver a votar, el primero ha de ser descartado, por lo que debe

ser posible encontrar el voto previo asociado al votante. Es una violación clara del principio

Aquí hay que poner la característica que viola del voto electrónico

. Es por ello que estas corrientes defienden que, de la misma forma que el voto tradicional, es más seguro para el votante el que vote solamente una vez, siendo este el único voto que debe ser introducido en la urna. Además, de este modo, no hace falta guardar la dupla voto-votante en el sistema, basta con almacenar el voto en la urna digital y marcar en el censo que el votante ya ha votado.

5.8.7. Difusión de resultados

La difusión de resultados por parte de Helios consiste en una web muy simple que indica las distintas opciones de voto y cuántos votos ha recibido cada una. Ni siquiera ordena los resultados por orden de votos contabilizados.

Un problema que tiene la web con respecto a la información que queremos mostrar en estas Elecciones es que no se muestra la abstención, ya que es un dato para el que no está diseñado el sistema Helios, ya que en principio permite votaciones con censo cerrado y abierto. En este último caso no tiene sentido, por tanto, el concepto de abstención, pues no tenemos constancia del censo de potenciales votantes del proceso.

Junto con el problema de la abstención, podemos incluir que le falta información acerca de la propia elección. Muestra las votaciones por "preguntas", pero no aporta datos como el comentado de la abstención, censo, participación y diversos valores que deben estar presentes para dar legitimidad a un proceso electoral.

Sería correcto incrementar el valor de la información en la medida de lo posible añadiendo este tipo de datos a la web de difusión de resultados. Incluso, resultaría muy interesante acompañar estos datos en crudo con algún tipo de elaboración de datos para dar mayor contexto al resultado del Proceso.

En el caso de las Elecciones a Delegado o a la Junta de la USP CEU esto podría consistir en ofrecer en la web contenido extra como informes de votación agregada o comparativas entre diferentes grupos de votantes o candidatos, es

decir una serie de estadísticas que den mayor información, siempre objetiva, del desarrollo y resultado del Proceso Electoral.

Un ejemplo podría ser en el caso de la elección de delegado. Aunque yo, como votante de una clase sólo esté interesado en quién ha resultado elegido en mi clase, debería tener la opción de poder conocer resultados en otras clases. Así mismo, resultaría interesante complementar la información del ámbito donde he votado comparándola con el resto de ámbitos, mostrando qué posición ocupa mi circunscripción en cuanto a participación, disgragación del voto, rangos horarios, etc. Las estadísticas, si son las adecuadas, son herramientas que aportan valor a este tipo de difusión de información.

5.8.7.1. Comprobación del voto

Un problema que surge en un sistema de voto electrónico o por Internet es el de la veracidad de los resultados.

La difusión del resultado de la votación debería incluir dos herramientas para poder limitar la duda en dos aspectos.

Por un lado, tratar de asegurar a la persona que consulta los resultados la veracidad de los mismos, que la consolidación de los votos emitidos ha sido correcta, sin equivocación por parte del sistema o fraude por parte de los organizadores del Proceso.

Por otro lado, debe asegurar al votante que ha participado en la elección una herramienta que le permita verificar que en el resultado que está viendo su voto ha sido contado y, además, correctamente.

En procesos electorales tradicionales este punto no tiene tanta trascendencia porque, normalmente, confiamos en el protocolo de la elección. Nos aporta seguridad ver cómo nuestro voto lo introducimos nosotros mismos en la urna transparente y sabemos que el conteo de los votos, además de ser público, se realiza entre un grupo de vocales designados aleatoriamente y apoyados por interventores de diferentes fuerzas políticas que, difícilmente puedan llegar a un acuerdo para falsificar el conteo de la mesa electoral en cuestión.

Pero como ya se ha comentado ampliamente, esto no ocurre en procesos electorales por Internet, ya que, en principio carecemos de urna física y de ciudadanos anónimos que cuenten los votos. Hay que fiarse del software que realiza

el proceso. Y esta confianza suele ponerse en duda en fases anteriores del proceso, pero sobre todo aquí, cuando se observa el resultado de la totalización de los votos.

MUY IMPORTANTE, hay que poner que al menos haya enlaces a los mecanismos de validación de votos.

Capítulo 6

Solución

He eliminado los diagramas que tenía porque ya no se corresponden con el nuevo sistema.

6.1. Diseño

Tal como se estudia en el análisis (5), la solución que se propone para este Proyecto consiste en adaptar el sistema Helios Voting a las necesidades de la EPS.

Para ello, habrá que tener en cuenta quiénes son los actores que han de interactuar, así como los cambios que hay que realizar para llegar a implementar el sistema en este nuevo escenario.

6.1.1. Diseño del esquema de votación

6.1.1.1. Registro

La fase de registro de votantes en el sistema no será interactivo en cuanto a que no es el propio votante el que debe inscribirse para poder votar en las elecciones, sino que es la Autoridad Electoral la que lo registra en el censo. En esta fase, pues, se trata de establecer el censo de votantes que tienen autoridad para votar en el proceso electoral.

Como se advierte en el análisis se ha tomado en consideración que sean los

administradores del sistema quienes tengan responsabilidad sobre el tratamiento del censo, por lo que se ha de cargar en el sistema y éste es el que lo va a tratar.

El censo ha de cargarse en dos servicios del sistema, tanto en el servidor de autenticación como en el sistema de votación.

El censo del subsistema de autenticación se utilizará para llevar el control de los votantes que tienen derecho de acceso al sistema, por lo que a los votantes se les pueden añadir otros usuarios necesarios para llevar a término la votación, como pueden ser administradores o auditores, aunque estos no tengan derecho de voto. Así se conformaría la base de usuarios activos del sistema.

En el subsistema de voto también se vuelca el censo para cada uno de los diferentes procesos de voto que conformen la elección.

El procedimiento a seguir consistirá en que la Autoridad Organizadora del Proceso Electoral, la Universidad, proveerá una lista del censo a los administradores del sistema. El administrador utilizará la función de carga de votantes con la lista proporcionada para realizar la carga inicial de votantes para cada una de las subelecciones que se configuren.

La lista proporcionada por la Universidad debe contener la siguiente información de cada uno de los votantes:

- Nombre y apellidos
- DNI
- Clase / grupo de votantes
- E-mail

La carga de los votantes a través de su aplicación se realiza subiendo un fichero csv con la información requerida. Este fichero se pone a disposición de la cola de procesos, la cual, llegado el momento volcará cada uno de los registros en la base de datos del sistema de votación.

Falta definir el proceso de carga de votantes para el servicio de autenticación.

6.1.1.2. Identificación / Autenticación

El servicio de identificación es un subsistema clave en el proceso electoral. En él recae parte de la responsabilidad de la robustez del sistema, en cuanto a que debe asegurar varios de los requisitos básicos que definen el voto electrónico en concreto:

Esto es así según los requisitos de Fujioka, si se utilizan los de la UNEX, se puede modificar.

Solidez: Debe asegurar que un votante deshonesto no tenga capacidad de acceder al sistema e interrumpir la votación. Es decir, que sólo debe dar acceso a los votantes que realmente deben ingresar al sistema de votación.

Elegibilidad: Este requisito implica que el sistema debe controlar que ningún votante que no tenga permitido el voto pueda votar. Aunque es el proceso de votación el que debe controlar esta circunstancia cuando un usuario trata de emitir un voto, el sistema de votación, de forma análoga al requisito anterior, también debe proteger el sistema evitando el acceso a aquellos que, directamente, no tengan permisos para votar.

Sin duplicados: El sistema debe evitar que un votante duplique o reemplace el voto de otro. Igualmente, aunque es el sistema de votación el que debe tener mecanismos que controlen esta situación, la primera barrera debe ser la servicio de autenticación del votante.

El sistema de identificación del votante se apoya en el protocolo oAuth2.

AQUÍ DESARROLLAMOS LA IMPLEMENTACIÓN oAuth QUE HEMOS DESARROLLADO PARA ESTE SISTEMA

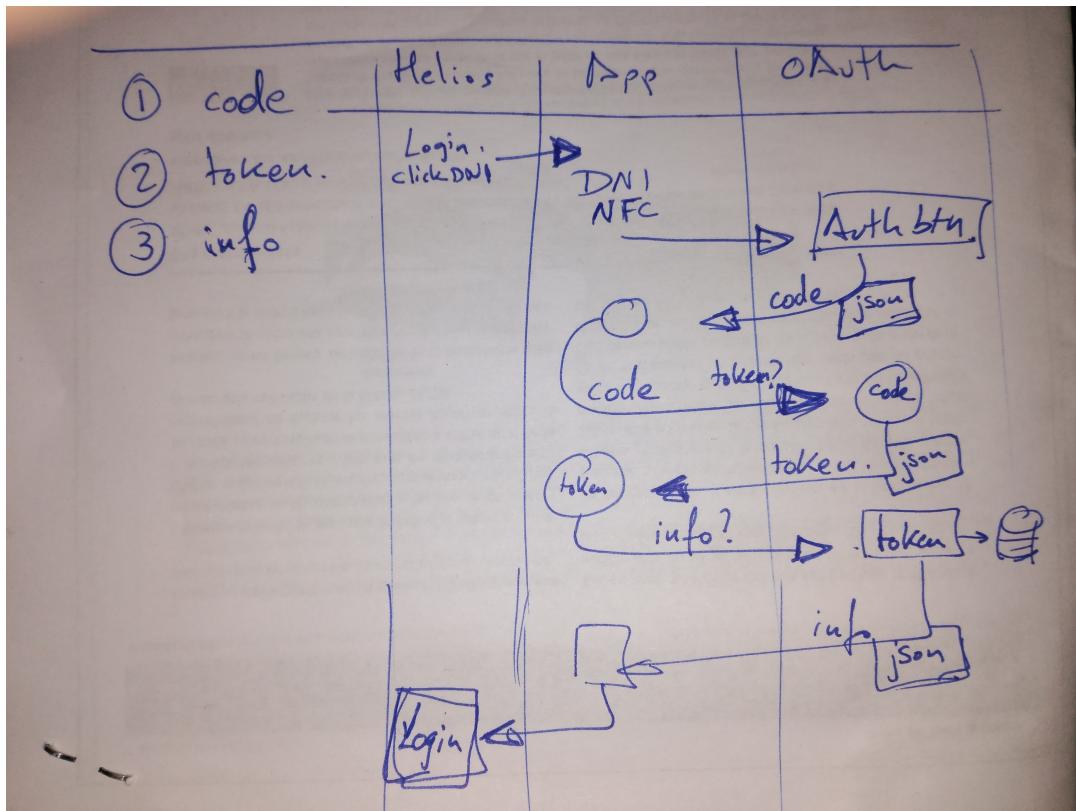


Figura 6.1: Flujo OAuth para servicio de autenticación

6.1.1.3. Elección de candidatura

6.1.1.4. Votación

6.1.1.5. Escrutinio

6.1.1.6. Difusión de resultados

6.1.2. Diseño de la arquitectura

Aquí metemos la explicación de los dos servidores, el de auth y el de Helios, con sus conexiones por Internet. Podemos adelantar la implementación pensando en dos raspberrys? Aquí se habla de los dos Apaches en uno de los servidores (el de DNle y el otro)??

6.1.3. Diseño de la capa de datos

Al hablar de Helios ya se puso un diagrama de datos. Repetir destacando los cambios. Añadir el diagrama E-R del servidor de OAuth

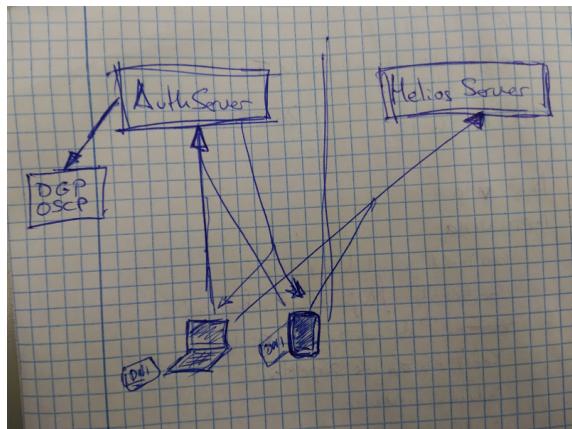


Figura 6.2: Arquitectura

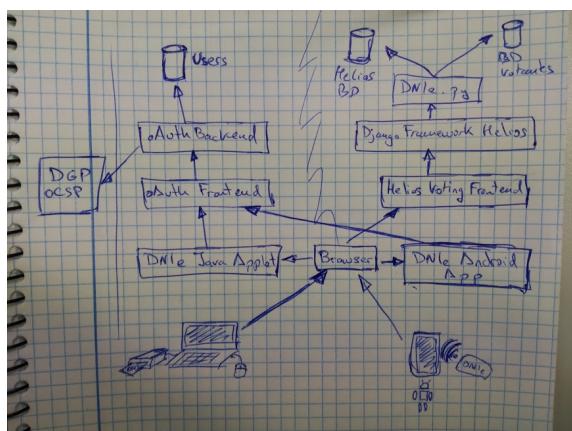


Figura 6.3: Arquitectura nivel 2

6.1.4. Diseño de la red

Para esto sí que necesito ayuda, por el tema de Firewalls y esas cosas.

6.1.5. Diseño de la app de identificación

6.1.6. Diseño de la interfaz de usuario

Para la interfaz de usuario hay varias necesidades que se han debido de satisfacer.

Por un lado, la imagen corporativa. Al tratarse de un proceso electoral diseñado para una entidad, la plataforma en la que se basa debería mostrar inequívocamente la imagen de la entidad que lo organiza.

Otro aspecto a tener en cuenta será la adaptación a dispositivos móviles, pues lo que se busca es el voto seguro desde este tipo de dispositivos, algo que no cubre con suficiencia la versión actual de Helios Voting.

6.1.6.1. Estructura de la página web

Cambios en la interfaz original de Helios. Responsive....

6.1.6.2. Estructura de la aplicación móvil

Interfaz de usuario de la app.

6.1.6.3. Accesibilidad

Destacar accesibilidad

6.1.6.4. Imagen corporativa

Como imagen de marca, bla bla bla, al no haber un logo del proceso, bla bla bla, se puede introducir uno o utilizar el de la Universidad, bla bla

La interfaz de Helios Voting se corresponde con un sistema neutro para realizar elecciones en la plataforma web de ejemplo que tienen publicada junto con el código fuente del proyecto.

Esta interfaz está bien para el propósito que tienen de, por un lado, mostrar un ejemplo de funcionamiento del proyecto y, por otro, dar una herramienta funcional para la realización de pequeños procesos electorales seguros por Internet para pequeños grupos que no necesiten una implementación propia.

A la hora de utilizar esta herramienta para montar un sistema electoral propio, en infraestructuras de un cliente, esta interfaz no se corresponde con la que debería tener un proyecto serio. Cualquier proceso electoral suele y debe tener una imagen corporativa propia que pueda identificarse claramente con el propio proceso y con las autoridades que lo organizan, con la finalidad de que el votante identifique claramente el origen del proceso y no dé lugar a equívocos, además de que, en cierto modo, aumentan la seguridad del mismo en el proceso.

La Universidad, al no haber estar habituada a procesos electorales por Internet, no suele llevar a cabo el desarrollo de una imagen corporativa para este tipo de eventos. No obstante, sí que lo hace con otros que suele organizar, ya sean académicos o sociales, además de que, como la mayoría de entidades, tiene construida una imagen de marca propia.

Basándonos en esta imagen de marca propia de la Universidad San Pablo CEU, se ha diseñado una gama de colores y una serie de logos e imágenes para dar una imagen corporativa al proceso electoral. Aunque se ha utilizado la interfaz base del proyecto Helios, ha habido que modificarla para hacer que se relacione la web con la Autoridad que organiza la Elección.

Dar una muestra de colores y de logos de la elección



Figura 6.4: *Logo de la Universidad San Pablo CEU en su web*

Colores...accesibilidad!

Desde aquí hasta el comienzo de ?? hay que moverlo a Análisis.

En varios de los sistemas estudiados que se han desarrollado para intentar implantar el voto electrónico a un nivel medio, como pueden ser los mexicanos SELES 2.3.3 y SEVI 2.3.4 o los españoles de Víctor Moreno [30] o Votescript ??????? 2.3.1 se observa que se realiza una división del proceso electoral en cuatro fases ??????? (Registro, Votación, Consolidación de resultados y Auditoría). En el desarrollo de este sistema vamos a identificar las mismas fases, pero con matices.

Así, en una primera visión global del sistema, en este se definen cuatro fases:

- Preelectoral
- Votación
- Consolidación de resultados
- Postelectoral

Realmente, la mayor diferencia con las fases definidas en los esquemas anteriores se corresponden con el alcance de la primera y la última fase. La fase

Preelectoral, denominada comúnmente en los ejemplos estudiados en la Introducción como fase de Registro, en este sistema tiene un alcance mayor. En este proceso electoral no se requiere que el votante se registre para poder votar. El censo lo proporciona la Autoridad Electoral y se carga en el sistema. Igualmente, en los días previos a la jornada electoral el sistema permitirá a los votantes comprobar si están en el censo y qué información contiene éste, tanto personal - para asegurarse de que podrán identificarse - como de permisos de cara a realizar la votación.

Las fase de Votación también tiene un alcance diferente. En primer lugar, empieza con la identificación del votante en el sistema electoral. Una vez el votante ha sido correctamente identificado por el sistema (tal como lo haría contra los miembros de la mesa en el voto tradicional), debe recibir una boleta electrónica que le ofrezca las opciones entre las que, por su circunscripción, deba elegir la que desea votar. Una vez seleccionado, es el momento en el que realmente el votante realiza la votación, traspasando el voto de forma digital al sistema, a la *urna digital* donde se anonimizarán y almacenarán hasta la fase de consolidación.

En la fase de consolidación de resultados, el sistema se encargará del conteo de los votos que han sido emitidos

continuar...

La fase Postelectoral, que denominan Auditoría, prefiero dejarla con este nombre, ya que considero que la auditoría del sistema es una operativa que se realiza durante toda la jornada electoral, no sólo al finalizar ésta. No obstante, es cierto que al final se llevarán a cabo auditorías de los resultados y el funcionamiento. Además de las auditorías llevadas a cabo por los auditores *oficiales*, se va a implementar un mecanismo que permita a los propios votantes auditar que su voto ha sido correctamente incluido y contado en el proceso. Esta fase postelectoral también tiene más pasos ...

continuar con fase postelectoral

Antes de este punto hay que hacer un resumen de los diferentes esquemas de votación, teniendo estos como Firma ciega, mixnets, etc...

Capítulo 7

Plan de pruebas

Capítulo 8

Líneas futuras

Uso de Enigma http://enigma.media.mit.edu/enigma_full.pdf(8.9, página 13) para el voto por internet.

tro: <http://www.pabloyglessias.com/cifrado-homomorfico-blockchain/>

Realizar auditoría de la criptografía y seguridad de los procesos

Mejorar el protocolo OAuth y montar un sistema REST para poder usado como servicio web y llamado desde diferentes plataformas: web estilo Angular, app móvil con llamadas Http directas, app de escritorio...

Investigar métodos de identificación - biometría, SIM con IDs ...

Carlos, asegúrate de que comentamos en algún sitio que es el primer sistema con el que se puede votar con el nuevo DNIe 3.0. Importante por la novedad.

Capítulo 9

Conclusiones

Bibliografía

- [1] ADIDA, B. Advances in Cryptographic Voting Systems. Master's thesis, MIT - Massachusetts Institute of Technology - Department of Electrical Engineering and Computer Science, Agosto 2006. <http://assets.adida.net/research/phd-thesis.pdf>.
- [2] ADIDA, B. Helios: Web-based open-audit voting. In *Proceedings of the Seventeenth Usenix Security Symposium (USENIX Security 2008)* (July 2008), pp. 335–348.
- [3] BENALOH, J. Simple verifiable elections. In *Proceedings of the USENIX/Accurate Electronic Voting Technology Workshop 2006 on Electronic Voting Technology Workshop* (Berkeley, CA, USA, 2006), EVT'06, USENIX Association, pp. 5–5.
- [4] ØBERG, M. W. Improving the Norwegian Internet Voting Protocol. Master's thesis, Department of Mathematical Sciences, NTNU - Norwegian University of Science and Technology, Junio 2011. <https://daim.idi.ntnu.no/masteroppgaver/005/5823/masteroppgave.pdf>.
- [5] BOKSLAG, W., AND DE VRIES, M. Evaluating e-voting: theory and practice. *CoRR abs/1602.02509* (2016).
- [6] BURNAND, F. E-voting to advance slowly in 2011. <http://www.swissinfo.ch/eng/e-voting-to-advance-slowly-in-2011/29138944>, 2011.
- [7] CABELLO PARDOS, A.B., HERNÁNDEZ ENCINAS, A., HOYA WHITE, S., MARTÍN DEL REY, A., AND RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, G. Un protocolo de votación electrónica basado en firmas digitales ciegas. *Universidad de Sevilla. XX Congreso de Ecuaciones Diferenciales y Aplicaciones. X Congreso de Matemática Aplicada* (Septiembre 2007).

- [8] CARRACEDO VERDE, JOSÉ DAVID, GÓMEZ OLIVA, ANA, MORENO BLÁZQUEZ, JESÚS, PÉREZ BELLEBONI, EMILIA, AND CARRACEDO GALLARDO, JUSTO. Votación electrónica basada en criptografía avanzada (Proyecto VOTESCRIPT). *Universidad Politécnica de Madrid* (2002). http://vototelematico.diatel.upm.es/articulos/articulo_venezuela_revisado.pdf.
- [9] CARTER CENTER. Internet Voting Pilot: Norway's 2013 Parliamentary Elections, Mar. 2014.
- [10] Certificados Digitales - FNMT. <https://www.cert.fnmt.es/cursode-criptografia/certificados-digitales>.
- [11] CHAUM, D. L. Untraceable Electronic Mail, Return Addresses, and Digital Pseudonyms. *Commun. ACM* 24, 2 (Feb. 1981), 84–90.
- [12] CHEN, X., WU, Q., ZHANG, F., TIAN, H., WEI, B., LEE, B., LEE, H., AND KIM, K. New receipt-free voting scheme using double-trapdoor commitment. *Information Sciences* 181, 8 (2011), 1493 – 1502.
- [13] CODINA LLIGOÑA, J. Bases teóricas y herramientas para el análisis y comparación de sistemas de votación de código abierto. Master's thesis, Universitat Oberta de Catalunya - Institut Municipal d'Informàtica de Barcelona, Enero 2014. <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/28282>.
- [14] CORTÉS POLO, DAVID MIGUEL, HORNERO ÍNCERA, ALEXEI, MARTÍNEZ BRAVO, LORENZO, AND GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, JOSÉ LUIS. Estudio de infraestructura para sistemas de voto electrónico. *Departamento de Informática, Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura* (-). <http://gitaca.unex.es/agila/voto/voto.pdf>.
- [15] DELLA PAOLERA, P. La prueba de Conocimiento Cero o Nulo. <http://paolera.wordpress.com/2014/06/27/la-prueba-de-conocimiento-cero-o-nulo/>, Junio 2014.
- [16] DHILLON, KYLE. Challenges for LargeScale Internet Voting Implementations. Tech. rep., Princeton University Department of Computer Science, Enero 2015. https://www.cs.princeton.edu/sites/default/files/uploads/kyle_dhillon.pdf.

- [17] DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA - MINISTERIO DEL INTERIOR - ESPAÑA. Infraestructura de Clave Pública - DNI Electrónico - Proyecto de Declaración de Prácticas y Políticas de Certificación. http://www.dnielectronico.es/PDFs/politicas_de_certificacion.pdf, Marzo 2006.
- [18] DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA - MINISTERIO DEL INTERIOR - ESPAÑA. Infraestructura de Clave Pública de la Dirección General de la Policía - Declaración de Prácticas y Políticas de Certificación. <http://www.policia.es/DPC/dpc.pdf>, Enero 2014.
- [19] Internet Voting - Voting methods in Estonia - Estonian National Electoral Committee. <http://www.vvk.ee/voting-methods-in-estonia/engindex/>.
- [20] FUJIOKA, ATSUSHI, OKAMOTO, TATSUAKI, AND OHTA, KAZUO. A Practical Secret Voting Scheme for Large Scale Elections. In *Proceedings of the Workshop on the Theory and Application of Cryptographic Techniques: Advances in Cryptology* (London, UK, UK, 1993), ASIACRYPT '92, Springer-Verlag, pp. 244–251.
- [21] GARCÍA ZAMORA, C. P. Diseño y Desarrollo de un Sistema para Elecciones Electrónicas Seguras (SELES). Master's thesis, Centro de Investigacion y de Estudios Avanzados del Instituto Politecnico Nacional. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Sección de Computación, Septiembre 2005. <http://delta.cs.cinvestav.mx/~francisco/Repository/tesisCPGZ.pdf>.
- [22] GARCIA MONDARAY, S. Especificación de requisitos software con IEEE 830-1998. <http://www.godtic.com/blog/2012/11/18/especificacion-de-requisitos-software-con-ieee-830-1998/>, Noviembre 2012.
- [23] HERSCHEBERG, M. A. Secure Electronic Voting Over the World Wide Web. Master's thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT - Massachusetts Institute of Technology, Mayo 1997.
- [24] IEEE. IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications. *IEEE Std 830-1998* (1998).
- [25] KIAYIAS, A., KORMAN, M., AND WALLUCK, D. An internet voting system supporting user privacy. In ACSAC (2006), IEEE Computer Society, pp. 165–174.

- [26] LÓPEZ GARCIA, M. D. L. Sistema Electrónico de Votación. Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ciencias de la Computación, Febrero 2007. http://delta.cs.cinvestav.mx/~francisco/TesisMaestriaFinal_Lourdes.pdf.
- [27] LÓPEZ GARCIA, M. D. L. *Diseño de un protocolo para votaciones electrónicas basado en firmas a ciegas definidas sobre emparejamientos bilineales*. PhD thesis, Centro de Investigacion y de Estudios Avanzados del Instituto Politecnico Nacional. Departamento de Computación, Junio 2011. <http://www.cs.cinvestav.mx/TesisGraduados/2011/TesisLourdesLopez.pdf>.
- [28] MINISTERS, C. *Legal, Operational and Technical Standards for E-voting: Recommendation Rec(2004)11 Adopted by the Committee of Ministers of the Council of Europe on 30 September 2004 and Explanatory Memorandum*. Legal Issues. Council of Europe Pub., 2005.
- [29] MORALES ROCHA, V. M. *Seguridad en los procesos de voto electrónico remoto: registro, votación, consolidación de resultados y auditoría*. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Telemàtica, Marzo 2009. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/7043/01VMmr01de01.pdf>.
- [30] MORENO PEÑA, ADRIÁN. Portal web para la gestión de información de un departamento universitario en la USC. Master's thesis, Escuela Técnica Superior de Ingeniería - Universidad de Santiago de Compostela, Diciembre 2007. <http://bloqnum.com/pfc/proyecto/proyecto.html>.
- [31] MORSHED CHOWDHURY, M J. Comparison of e-voting schemes: Estonian and Norwegian solutions. *NordSecMob, University of Tartu* (2010). <http://courses.cs.ut.ee/2010/security-seminar-fall/uploads/Main/chowdhury-final.pdf>.
- [32] Normas de organización y funcionamiento de la Universidad San Pablo-CEU. http://www.uspceu.com/_docs/conocenos/normativa-universitaria/1.pdf.
- [33] OCHOA JIMÉNEZ, J. E. Función picadillo determinista al grupo G2 y su aplicación en autenticación para dispositivos móviles. Master's thesis, Centro de Investigacion y de Estudios Avanzados del Instituto Politecnico Nacional. Departamento de Computación, México D.F., Méxi-

- co, Diciembre 2013. <http://www.cs.cinvestav.mx/TesisGraduados/2013/TesisJoseOchoa.pdf>.
- [34] PANIZO ALONSO, L. Desarrollo de una metodología para el análisis y la clasificación de los sistemas de voto electrónico. Master's thesis, Universidad de León - Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática, Diciembre 2014. https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/4237/tesis_b4cfc6.PDF.
- [35] PÉREZ BELLEBONI, E. Aplicación de documentos de identificación electrónica a un esquema de voto telemático a escala paneuropea, seguro, auditible y verificable. Master's thesis, Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación - Departamento de Ingeniería y Arquitecturas Telemáticas, Febrero 2013. http://oa.upm.es/14925/1/EMILIA_PEREZ_BELLEBONI.pdf.
- [36] PÉREZ BELLEBONI, EMILIA, AND CARRACEDO GALLARDO, JUSTO. Uso del DNle para reforzar el anonimato en el voto telemático mediante tarjetas inteligentes. *Departamento de Ingeniería y Arquitecturas Telemáticas. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid* (2009). http://vototelematico.diatel.upm.es/articulos/Uso_DNiIe_anonimato_voto.pdf.
- [37] Indra. Procesos Electorales. <http://www.indracompany.com/sector/procesos-electorales>.
- [38] PUIGGALÍ, JORDI, CHÓLIZ, JESÚS, AND GUASCH, SANDRA. Best Practices in Internet Voting. *Scytl Secure Electronic Voting* (2010). http://www.scytl.com/wp-content/uploads/2013/05/PUIGGALI_BestPracticesInternetVoting.pdf.
- [39] Scytl. <http://www.scytl.com/>.
- [40] SMYTH, B., FRINK, S., AND CLARKSON, M. R. Election Verifiability: Cryptographic Definitions and an Analysis of Helios and JCJ. Cryptology ePrint Archive, Report 2015/233, 2015. <https://eprint.iacr.org/2015/233.pdf>.
- [41] U.S. ELECTION ASSISTANT COMMISSION. A Survey of Internet Voting. <http://www.eac.gov/assets/1/Documents/SIV-FINAL.pdf>, Septiembre 2011.

- [42] VENTURA BONELL-TEROL, M. A. Propuesta de implantación de votación electrónica en las elecciones a rector de la Universidad Politécnica de Valencia. Master's thesis, Universitat Politècnica de València. Facultat d'Administració i Direcció d'Empreses, Octubre 2011. <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14584/PROPUESTA%20DE%20IMPLANTACI%C3%93N%20DE%20VOTACI%C3%93N%20ELECTR%C3%93NICA%20EN%20LAS%20ELECCIONES%20A%20RECTOR%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20PO.pdf?sequence=1>.
- [43] Voting Machines Pros and Cons. <http://votingmachines.procon.org/view.timeline.php?timelineID=000021>.

Anexos

A. Instalación de Helios

Estos son los pasos llevados a cabo para instalar el proyecto Helios en un servidor Linux. Son los que yo ejecuté para montar el prototipo del Sistema, por lo que puede ser que para alguien que intente realizar esta instalación, haya pasos que no le funcionen y/o no le permitan finalizar la instalación.

```
> sudo apt-get update
```

Si hace falta conectarse a Internet a través de un proxy:

```
> export http_proxy=http://usuario:password@url:puerto
> export https_proxy=https://usuario:password@url:puerto

> sudo apt-get update
> sudo -E apt-get update
> sudo apt-get install postgresql
> sudo -E apt-get install postgresql
> cd Descargas/
> ll
> git clone https://github.com/benadida/helios-server.git
> cd helios-server/
> ll
> virtualenv venv
> sudo -E apt-get install python-virtualenv
> virtualenv venv
> source venv/bin/activate
```

```
> sudo -E apt-get install libpq-dev  
> sudo -E apt-get install python-dev  
> pip install -r requirements.txt
```

Hay que modificar el fichero *rest.sh*. Hay que sustituir la línea

```
echo "from helios_auth.models import User; User.objects.create(user_type='google',u
```

por la línea

```
echo "from helios_auth.models import User; User.objects.create(user_type='password',u
```

Hay que arreglar que no se corten las líneas al ser tan largas. En un documento he visto algo de usar el paquete `sverbatim`

```
> ./reset.sh  
> sudo su -c "createuser --superuser carlos" postgres  
> sudo service postgresql restart  
> ./reset.sh  
> pip install amqp  
> ./reset.sh  
> pip install billiard  
> ./reset.sh  
> pip install pytz  
> ./reset.sh  
> psql --dbname helios  
    >>> alter role carlos with password 'unapassword';  
    ### El password que hay que poner es el que tenemos en settings.py  
> ./reset.sh
```

Notas (para borrador)

■ IMAGEN DOS CONJUNTOS, UNO (E-VOTING) CONTIENE AL OTRO (I-VOTING)	14
■ o la de Delegados?	15
■ linkar al capítulo correspondiente	15
■ Acabar la introducción	16
■ COMENTADO POR AHORA	16
■ Breve Historia del voto electrónico	16
■ If there is any invention on Earth that we don't want down here, that is it.	17
■ UN POQUITO MÁS DE HISTORIA ***** HABLAR DE DRE Y TARJETAS PERFORADAS	18
■ Desarrollamos este apartado o lo obviamos?	19
■ Aquí referencia a los requisitos del voto electrónico	20
■ Hay que arreglar este párrafo.	26
■ Cerrar elegantemente el capítulo	33

■ ***** EXPLICAR UN POCO EL FUNCIONAMIENTO Y ANALIZARLO ***** SEGÚN BELLEBONI, EN SUS CONCLUSIONES: - Interesante por ser una elección a nivel nacional y vinculante. - Aceptación nacional, con nº votantes en tendencia creciente y dando validez a los votos emitidos por este medio. Debilidades: - No uso de mecanismos seguros que garanticen la protección del derecho a voto secreto. - El voto no está protegido por mecanismos de firma ciega, anonimizadores, ni mecanismos equivalentes (y se conserva de 4 a 10 días almacenado junto a la identificación del votante), sino que traslada al sistema por Internet las debilidades ya existentes en el voto tradicional (¿?) *****	38
■ INTERESANTE – http://elecciones.smartmatic.com/estonia-y-el-voto-por-internet/	39
■ ¿Hay que hablar de Noruega?	39
■ seguir?...	41
■ Indra	41
■ (Scytel)	41
■ Votescript es voto electrónico remoto por medio de locales de votación. Está bien que expliquemos cómo se implementa la parte telemática, que es lo que afecta al PFC.	43
■ Nombre de la Universidad!!	44
■ ME HE QUEDADO POR AQUÍ	44
■ SELES, SEVI y el americano hay que moverlos. NO son experiencias de voto. Son proyectos que se han diseñado pero no se han llevado a cabo en una elección real. No deberían ir aquí. Habría que ponerlos con tecnologías existentes entre las que decidir, junto a Helios Voting y Ágora Voting.	44
■ Lo que quizás sí que habría que hablar, o no, hay que decidirlo es de las elecciones que se han hecho utilizando Helios (Universidad de Louven, Harvard) y Ágora (Podemos), pues son experiencias reales con sistemas que me planteo utilizar como base.	44
■ SELES	44

■ Quitar el pie que viene implícito en la imagen!!!	45
■ http://www.cs.cornell.edu/projects/civitas/ Alternativa a Helios y Ágora, hay que moverlo a otro capítulo.	46
■ Civitas is a new, secure voting system. Civitas is the first voting system implementation that allows voters to vote securely from the remote client of their choice, while provably providing universal verifiability, voter verifiability, anonymity, and coercion resistance. Civitas scales up to a large number of voters, with a low marginal computational cost per voter.	46
■ La sección para E2E está bien si tenemos a Helios y Ágora, pero si hablamos de Civitas, SELES, SEVI y la del americano, quizá tenga que ser una subsección de desarrollos existentes de Voto por Internet. Requiere valoración.	46
■ Falta decir el porqué!! Por qué se olvidan los votantes de la amenaza? pues porque el E2E consigue que se demuestre la invariabilidad del voto emitido frente al contado...E2E	48
■ Aquí va la imagen de la arquitectura de ADDER.	49
■ (...)	50
■ esto no está muy bien explicado	51
■ Editar lo que está escrito en temp.tex sobre Ágora Voting. Ya no son Software Libre...	51
■ Ver una descripción de Helios v4 en [40]	52
■ Recuperar lo de Helios de temp.tex.	52
■ la siguiente info para analizar está sacada de https://eprint.iacr.org/2015/942.pdf	52
■ PRIMITIVAS CRIPTOGRÁFICAS O ESQUEMAS DE VOTO ELECTRÓNICO ???	54
■ EL TEMA ES QUE EXISTEN ESTAS PRIMITIVAS BÁSICAS Y LUEGO LOS ESQUEMAS SE BASAN EN ELLAS PARA SER DISEÑADOS	54

■ En principio es una explicación matemática del protocolo... ¿Merece la pena?	54
■ Aparte del ejemplo, hay que terminar este apartado de ZK	56
■ Adaptar el texto de temp.tex	56
■ Aquí hay que añadir el texto sobre el cifrado homomórfico	57
■ Ahondar un poco en la criptografía, pero sólo la parte que entiendo.	57
■ El problema es que parece que repetimos en los esquemas lo que se pon en las primitivas. Hay que ver cómo debo escribirlo.	58
■ Explicación del proceso (Chaum??)	59
■ ***** VER BELLEBONI *****	60
■ Estoy diciendo cosas contradictorias. Arreglar.	60
■ Falta literatura en este apartado. Para el final.	62
■ COMPLETAR	62
■ Buena fuente de información en https://www.agpd.es/portalwebAGPD/canaldocumentacion/publicaciones/common/Guias/Guia_RFID.pdf	63
■ DNIE - Añadir DNIE 3.0	66
■ Del documento https://www.incibe.es/extfrontinteco/img/File/intecocert/dnie/pdf/guiades.pdf	66
■ La web no está preparada para certificados digitales personales, etc, etc...	66
■ ?¿?¿?¿?, además de un coste ajustado,	68
■ SEGUIR CON LOS OBJETIVOS	69
■ AQUÍ HACE FALTA ENCONTRAR UN TEXTO LEGAL EXPLICANDO EL PROCEDIMIENTO DE LAS ELECCIONES	71
■ Si hacemos estas elecciones hay que incluir lo que venga en las Normas de Organización y Funcionamiento	71
■ AQUÍ HACE FALTA ENCONTRAR UN TEXTO LEGAL EXPLICANDO EL PROCEDIMIENTO DE LAS ELECCIONES	71

■ Alcance del proyecto	71
■ EN LA TESIS DE VMMR, CAPÍTULO 5, VIENE MUCHA INFORMACIÓN. DE CARA A LA SOLUCIÓN, PODEMOS CITARLE, HABLAR DE QUE LO QUE HAY QUE CONSEGUIR ES IDENTIFICAR A UNA PERSONA DE FORMA INCORRUPTIBLE Y RELACIONARLA CON UN SISTEMA DIGITAL (FIRMA!!!!). HABLA DE LA HUELLA DACTILAR, LA FIRMA MANUSCRITA Y LA VOZ	73
■ ***** CREO QUE ESTÁ MAL. REALMENTE, LOS ALUMNOS SON UNA ÚNICA CIRCUNSCRIPCIÓN: SU CENSO LO FORMAN LOS DELEGADOS Y SUBDELEGADOS DE CADA UNO DE LOS GRUPOS, QUE COMPONEN TAMBIÉN LOS CANDIDATOS. CANDIDATOS = CENSO EN ESTA "CIRCUNSCRIPCIÓN"	75
■ ¿merece la pena el rollo este de hablar de circunscripciones a nivel nacional?	75
■ En el análisis debo comentar que el tema de las circunscripciones lo salvamos creando diferentes elecciones, para cada grupo de electores.	75
■ Con Helios, esto no está tan claro que sea así. La parte de descifrar el voto no sería cierta	77
■ falta	78
■ LOPD ?? ? ? ?	78
■ hay que mirar bien esto del MobID, pues no sé si habrá algo desarrollado, de todos modos, en España esto ni se contempla	80
■ Se puede adelantar que sería interesante poder votar en la web desde el móvil en vez de desde la app.	82
■ Explicar un poco más el nuevo DNle, ventajas e inconvenientes para el voto por Internet, así como un poco su funcionamiento con los cambios respecto al DNle 2.0 —— aunque todo esto va en Estado de la cuestión	82
■ Con el nuevo protocolo, esto es MENTIRAA	82

■ Lo que pasa es que me temo que estas tarjetas no tienen certificados, con lo que tampoco van a valer para la votación	82
■ Tras el escrutinio, la difusión de resultados y proclamación oficial. Además, facilitar que el votante asegure el escrutinio de su voto.	84
■ Esto no va aquí, pero lo pongo para acordarme. Ya veremos si va en planteamiento, en solución o en... Probablemente tenga que ir en un capítulo dedicado a la AUDITORÍA, ahora que lo pienso	84
■ Este apartado hay que moverlo al Análisis y estructurararlo correctamente.	85
■ Rellenar este etc.	86
■ Introducir la firma del voto con el DNle no introduce ningún tipo de mejora en la seguridad respecto del que provee de por sí la propia herramienta Helios Voting. Así que no lo vamos a hacer. Hay que cambiar las modificaciones sobre la misma.	88
■ Hay que explicar el flujo que se ha implementado para el OAuth. Ver en el código.	90
■ hay que encontrar una mejor palabra	94
■ Este párrafo está improvisado, habría que darle una vuelta.	95
■ yo esto lo considero de otra forma ..., según wikipedia: son el marco contextual en el cual se implantará el sistema para conseguir un objetivo macro	97
■ (Analizando este requisito, la mejor forma es habilitar un horario en la sala de ordenadores de la Escuela destinados a que las personas que quieran puedan votar de forma remota desde estos puestos)	98
■ (24/7, un día, varios días... depende de cómo se defina el proceso) . . .	98
■ Esto de sin posibilidad de error ni me gusta ni queda correcto	98
■ AQUÍ HAY QUE DEFINIR LOS REQUISITOS DEL VOTO ELECTRÓNICO. DEPENDE DEL AUTOR, HAY UNOS U OTROS. HABRÁ QUE DEFINIR CUÁLES SON LOS QUE VAMOS A TENER EN CUENTA PARA ESTE PROYECTO. ESTÁN EN -TEMP- ESPERANDO A QUE TOME LA DECISIÓN. Fujioka? UNEX? MoralesRocha?	99

■ NO ESTOY DE ACUERDO CON ESTO. ALGUNOS AUTORES INDICAN LO CONTRARIO, QUE ES PRIMORDIAL QUE EL VOTANTE SE QUEDE CON UNA PRUEBA DE SU VOTO. DE TODOS MODOS CONSIDERO QUE SI SE CUMPLE EL REQUISITO DE VERIFICABILIDAD, ES MEJOR CUMPLIR ESTE, PERO NO POR HACERLO VAMOS A CONSEGUIR REBAJAR EL RIESGO DE COERCIÓN, ¿O SÍ?	99
■ Como lo hice en dos documentos diferentes, al unificarlo, tengo partes repetidas. Hay que borrar los repetidos.	101
■ ESTE NO CREO QUE DEBA IR, YA QUE ES UN RESUMEN DE LOS SIGUIENTES	102
■ (Analizando este requisito, la mejor forma es habilitando un horario en la sala de ordenadores de la Escuela destinados a que las personas que quieran puedan votar de forma remota desde estos puestos)	102
■ ESTO QUIZÁ DEBERÍA QUEDARSE DIRECTAMENTE EN LOS REQUISITOS IMPLÍCITOS AL VOTO ELECTRÓNICO. DE HECHO, A PARTIR DE ELLOS Y PINCELADAS DE ESTA SUBSECCIÓN SE HAN DE SENTAR LAS BASES DEL ESQUEMA DE VOTO ELECTRÓNICO A IMPLEMENTAR	103
■ ESTO ES TEMPORAL. VOY A IR HACIENDO UNA LISTA DE REQUISITOS SEGÚN LOS VOY CONOCIENDO. ESTA LISTA ES EL BATIBURRILLO, CUANDO ESTÉN CLAROS, LOS VOY COLOCANDO EN SUS TIPOS CORRESPONDIENTES Y LOS DEFINIMOS FORMALMENTE SEGÚN LA PLANTILLA	103
■ CAMBIAR EL NOMBRE de miembro de la Junta Electoral	104
■ Teniendo en cuenta la organización de Helios, los miembros de la Junta Electoral que tenemos aquí son los trustees del sistema original de Adida.	105
■ Al utilizar Helios, falta la figura del Trustee	106
■ PLANTILLA PARA PROYECTO DE FIN DE GRADO (Universidad de Cádiz) Propuesta de REDiris	106

- █ A partir de los requisitos de información, se desarrollará un diagrama conceptual de clases UML, identificando las clases, atributos, relaciones, restricciones adicionales y reglas de derivación necesarias. 106
- █ A partir de los requisitos funcionales descritos anteriormente, se emplearan los casos de uso como mecanismo para representar las interacciones entre los actores y el sistema bajo estudio. Para cada caso de uso deberá indicarse los actores implicados, las precondiciones y postcondiciones, los pasos que conforman el escenario principal y el conjunto de posibles escenarios alternativos. 106
- █ En este apartado se describirán los diferentes roles que juegan los usuarios que interactúan con el sistema. Los actores pueden ser roles de personas físicas, sistemas externos o incluso el tiempo (eventos temporales). 106
- █ A partir de los casos de uso anteriores, se crea el modelo de comportamiento. Para ello, se realizarán los diagramas de secuencia del sistema, donde se identificarán las operaciones o servicios del sistema. Luego, se detallará el contrato de las operaciones identificadas. 107
- █ En esta sección se deberá incluir un prototipo de baja fidelidad o mockup de la interfaz de usuario del sistema. Además, es preciso elaborar un diagrama de navegación, reflejando la secuencia de pantallas a las que tienen acceso los diferentes roles de usuario y la conexión entre éstas. 107
- █ He eliminado los diagramas que tenía porque ya no se corresponden con el nuevo sistema. 107
- █ He movido esta sección desde Planteamiento a Análisis porque creo que es donde debo comentar qué sistema hemos elegido para adaptar y los motivos que nos han llevado a ello. 107
- █ No me gusta nada cómo está redactado esto ni me parece que esté en el sitio correcto. Cambiar. 109
- █ Poner aquí qué significa esta información 113
- █ Explicar en qué consiste la verificación. IMPORTANTE y delicado. Valorar.113

■ Es necesario comentar en qué consiste la auditoría del escrutinio.	113
■ Esto se quedó a la mitad... :S	114
■ Captura de pantalla del móvil donde pide los certificados	117
■ Falta el tipo de cifrado, que en la documentación no aparece	118
■ Continuar con la migración a responsive web	122
■ Introducir aquí las características del voto por Internet que aplican a la fase de votación, ya sea por Fujioka, la UNEX u otro autor.	123
■ Aquel que coacciona es un ... ¿?	123
■ Aquí hay que poner la característica que viola del voto electrónico	124
■ MUY IMPORTANTE, hay que poner que al menos haya enlaces a los mecanismos de validación de votos.	126
■ He eliminado los diagramas que tenía porque ya no se corresponden con el nuevo sistema.	127
■ Falta definir el proceso de carga de votantes para el servicio de autenticación.	128
■ Esto es así según los requisitos de Fujioka, si se utilizan los de la UNEX, se puede modificar.	129
■ Aquí desarrollamos la implementación OAuth que hemos desarrollado para este sistema	129
■ Aquí metemos la explicación de los dos servidores, el de auth y el de Helios, con sus conexiones por Internet. Podemos adelantar la implementación pensando en dos raspberrys? Aquí se habla de los dos Apaches en uno de los servidores (el de DNle y el otro)??.	130
■ Al hablar de Helios ya se puso un diagrama de datos. Repetir destacando los cambios. Añadir el diagrama E-R del servidor de OAuth	130
■ Para esto sí que necesito ayuda, por el tema de Firewalls y esas cosas.	131
■ Cambios en la interfaz original de Helios. Responsive....	132
■ Interfaz de usuario de la app.	132

■ Destacar accesibilidad	132
■ Como imagen de marca, bla bla bla, al no haber un logo del proceso, bla bla bla, se puede introducir uno o utilizar el de la Universidad, bla bla	132
■ Dar una muestra de colores y de logos de la elección	133
■ Colores...accesibilidad!	133
■ Desde aquí hasta el comienzo de ?? hay que moverlo a Análisis.	133
■ ???????	133
■ ???????	133
■ continuar...	134
■ continuar con fase postelectoral	134
■ Antes de este punto hay que hacer un resumen de los diferentes esquemas de votación, teniendo estos como Firma ciega, mixnets, etc...	134
■ Uso de Enigma http://enigma.media.mit.edu/enigma_full.pdf (8.9, página 13) para el voto por Internet.	136
■ tro: http://www.pabloyglesias.com/cifrado-homomorfico-blockchain/	136
■ Realizar auditoría de la criptografía y seguridad de los procesos	136
■ Mejorar el protocolo OAuth y montar un sistema REST para poder usado como servicio web y llamado desde diferentes plataformas: web estilo Angular, app móvil con llamadas Http directas, app de escritorio...	136
■ Investigar métodos de identificación - biometría, SIM con IDs	136
■ Carlos, asegúrate de que comentamos en algún sitio que es el primer sistema con el que se puede votar con el nuevo DNIe 3.0. Importante por la novedad.	136
■ Hay que arreglar que no se corten las líneas al ser tan largas. En un documento he visto algo de usar el paquete spverbatim	145