Seguridad y criptografía. Aplicaciones a las comunicaciones seguras

Jorge Juan Chico

9 de octubre, 2009

Jorge Juan Chico <jjchico@dte.us.es>
Departamento de Tecnología Electrónica
Universidad de Sevilla

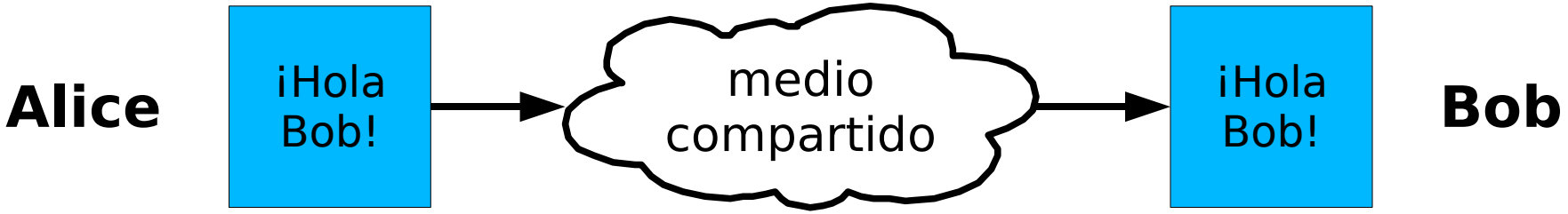
Objetivos

- Comprender los procedimientos básico que permiten establecer comunicaciones seguras entre usuarios y sistemas informáticos
- Conocer y saber utilizar diferentes elementos de seguridad: claves privadas y públicas, certificados digitales
- Conocer las aplicaciones posibles y comprender su funcionamiento
- Conocer la situación legal de los sistemas de firma digital en nuestro entorno
- Valorar la importancia de los sistemas de comunicación segura en la sociedad actual

Contenidos

- Objetivos de la seguridad
- Cifrado simétrico
- Cifrado asimétrico y firma digital
- Algoritmos de hash
- Certificados digitales y gestión de claves
- Aplicaciones

Objetivos de la seguridad en las comunicaciones informáticas



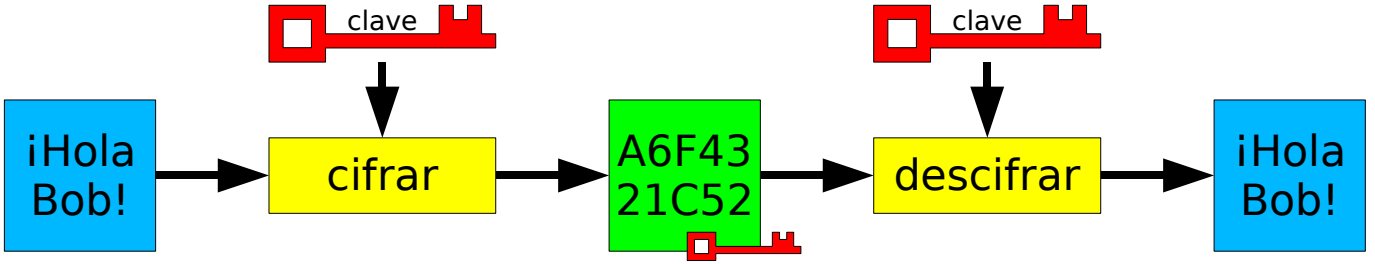
- Confidencialidad
  - Asegurar que sólo Bob recibe el mensaje
  - El mensaje resulta ininteligible para un espía que lo capture en tránsito
- Autenticidad
  - Asegurar a Bob que el mensaje recibido proviene de Alice
  - Un espía no puede falsificar un mensaje y hacer que parezca que viene de Alice
- Integridad
  - Asegurar que Bob recibe el mensaje íntegro y sin modificaciones
  - Un espía no puede alterar el mensaje en tránsito

Criptografía

Problemas a resolver

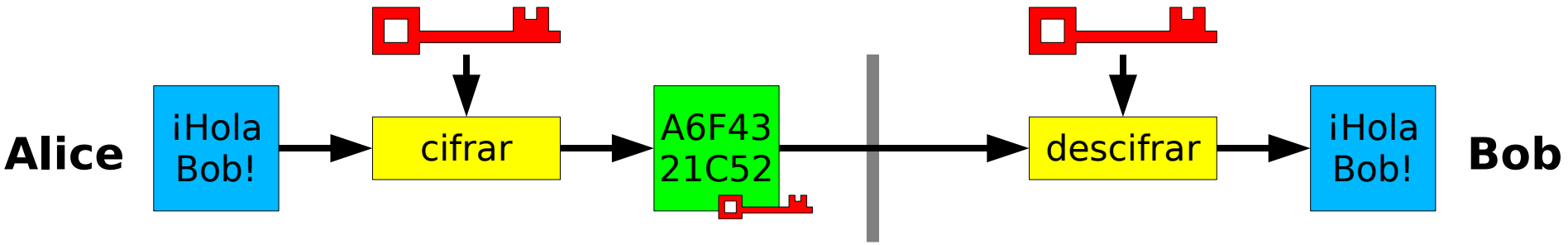
- Confidencialidad
- Integridad
- Autenticidad

Cifrado simétrico



- Cifrado
  - procedimiento que convierte un mensaje comprensible en otro incomprensible
  - el mensaje original puede recuperarse fácilmente si se conoce el algoritmo de cifrado y la “clave” empleada para su cifrado
- Propiedades
  - obtener el mensaje original a partir del mensaje cifrado es extremadamente difícil si no se conoce la clave, aunque se conozca el algoritmo de cifrado
  - las operaciones de cifrado y descifrado son muy eficientes
- Algoritmos: AES, Blowfish, DES, Triple DES, ...

Cifrado simétrico

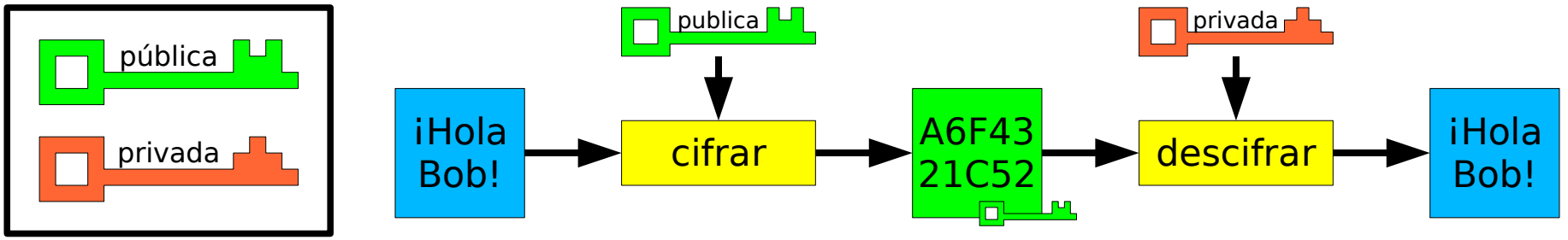


- Procedimiento
  - Alice cifra el mensaje con un algoritmo dado y una clave compartida con Bob (secreto compartido)
  - El mensaje cifrado es incomprensible para un posible espía
  - Bob descifra el mensaje fácilmente con el mismo algoritmo y la clave original
- Cualquier cambio en el mensaje cifrado produciría errores al descifrar y sería detectado (INTEGRIDAD)
- Bob sabe que el mensaje proviene de Alice sólo si únicamente Alice comparte la clave (AUTENTICIDAD)

Problemas pendientes

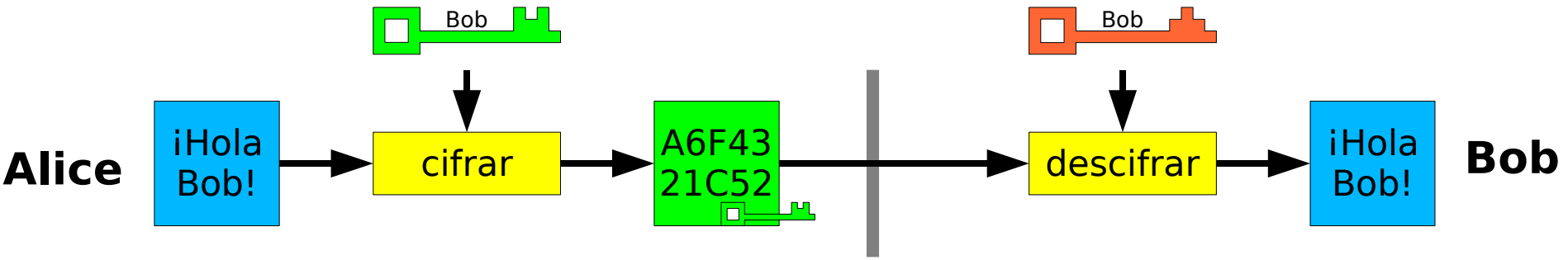
- ~~Confidencialidad~~
- ~~Integridad~~
  - depende del algoritmo
- ~~Autenticidad~~
- + Distribución de la clave
  - Es necesario la existencia de un canal seguro previo para compartir la clave. A veces esto es muy difícil o incluso imposible
  - Si un tercero averigua la clave, puede descifrar todos los mensajes enviados por Alice
  - Si varios actores usan la misma clave, Bob no puede saber de cual de ellos proviene el mensaje

Cifrado asimétrico



- Emplea una pareja de claves (pública y privada)
- Un mensaje cifrado con la clave pública se descifra fácilmente con la clave privada (y viceversa)
- Descifrar el mensaje sin la clave privada es extremadamente difícil
- La clave privada no puede deducirse de la clave pública

Cifrado asimétrico

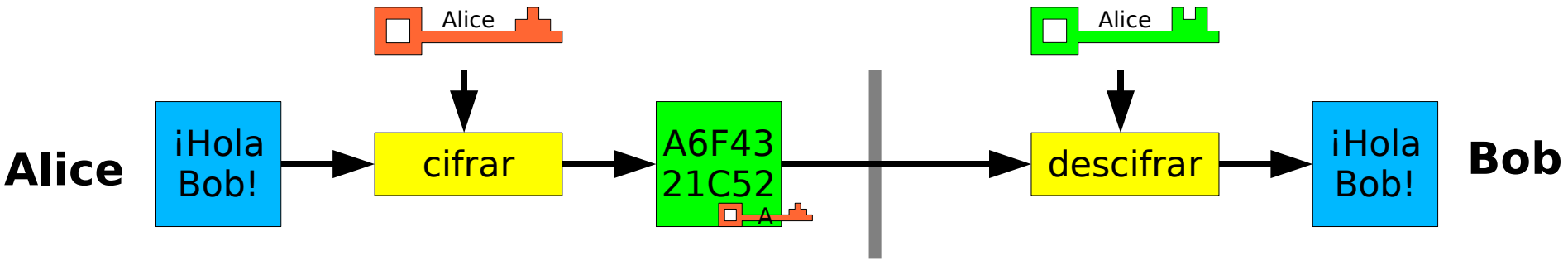


- Procedimiento
  - Bob genera una pareja de claves, hace accesible su clave pública y conserva en secreto su clave privada
  - Alice emplea la clave pública de Bop para cifrar el mensaje. Sólo la clave privada de Bob puede descifrar el mensaje cifrado (CONFIDENCIALIDAD)
  - Bob descifra el mensaje fácilmente con su clave privada
- Cualquier cambio en el mensaje cifrado produciría errores al descifrar y sería detectado (INTEGRIDAD)

Cifrado asimétrico

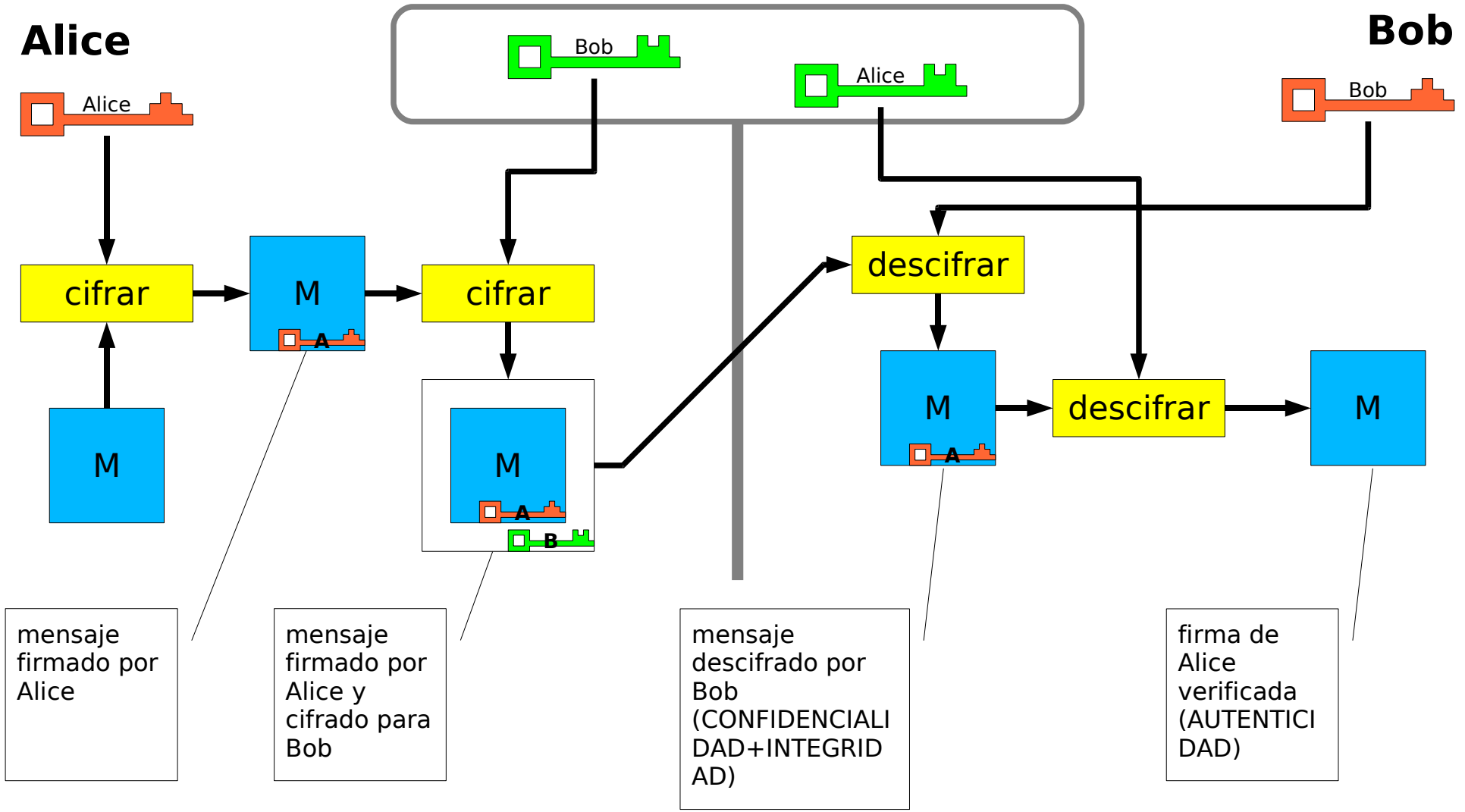
- Ventajas
  - Facilidad en la distribución de claves
    - no hay un “secreto compartido”
    - la clave pública puede distribuirse por un canal inseguro
  - Si un tercero averigua la clave privada de Bop, sólo los mensajes enviados a Bob se ven comprometidos
  - Proporciona un mecanismo de autenticación mejor que el derivado del uso de claves compartidas
    - Firma digital
- Algoritmos
  - RSA
  - DSA
  - ElGamal
  - ...

Cifrado asimétrico. Firma digital



- Procedimiento
  - Alice emplea su clave privada para cifrar el mensaje
  - Cualquiera puede descifrar el mensaje empleando la clave pública de Alice:
    - Esto constituye una prueba de la autenticidad del emisor ya que sólo el poseedor de la clave privada (Alice) ha podido generar el mensaje
  - La firma digital NO proporciona CONFIDENCIALIDAD
- La firma digital puede (y suele) combinarse con el cifrado (con la clave pública del destinatario) para obtener CONFIDENCIALIDAD e INTEGRIDAD

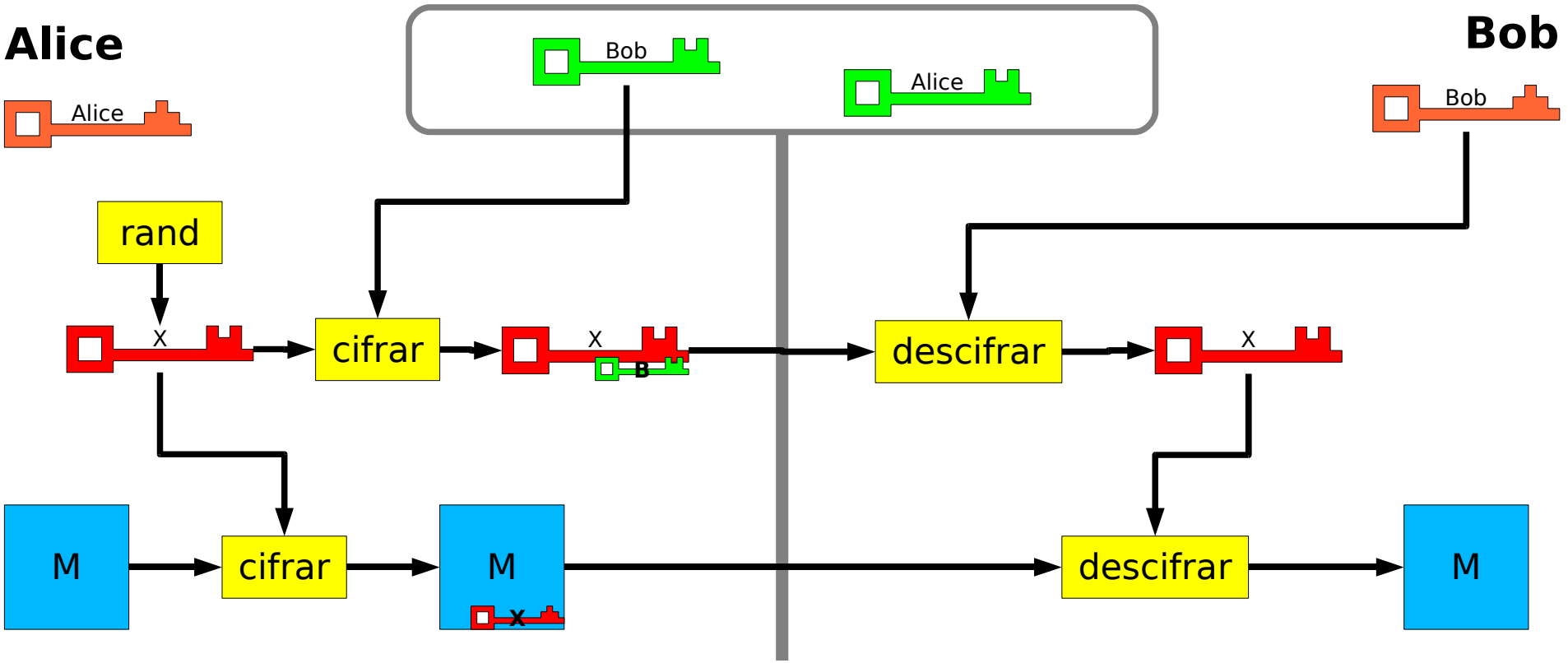
Cifrado asimétrico. Firma y cifrado



Problemas pendientes

- ~~Confidencialidad~~
- ~~Integridad~~
- ~~Autenticidad~~
- ~~Distribución de la clave~~
- + Coste computacional
  - Tiempo de cifrado/descifrado (x1000 respecto simétrico)
  - Tamaño del mensaje cifrado (x2 respecto mensaje original)
  - Cifrado para múltiples destinatarios
- + Gestión de claves
  - Distribución de claves públicas
  - Autenticidad de claves públicas
  - Anulación de claves posiblemente comprometidas: revocación de claves

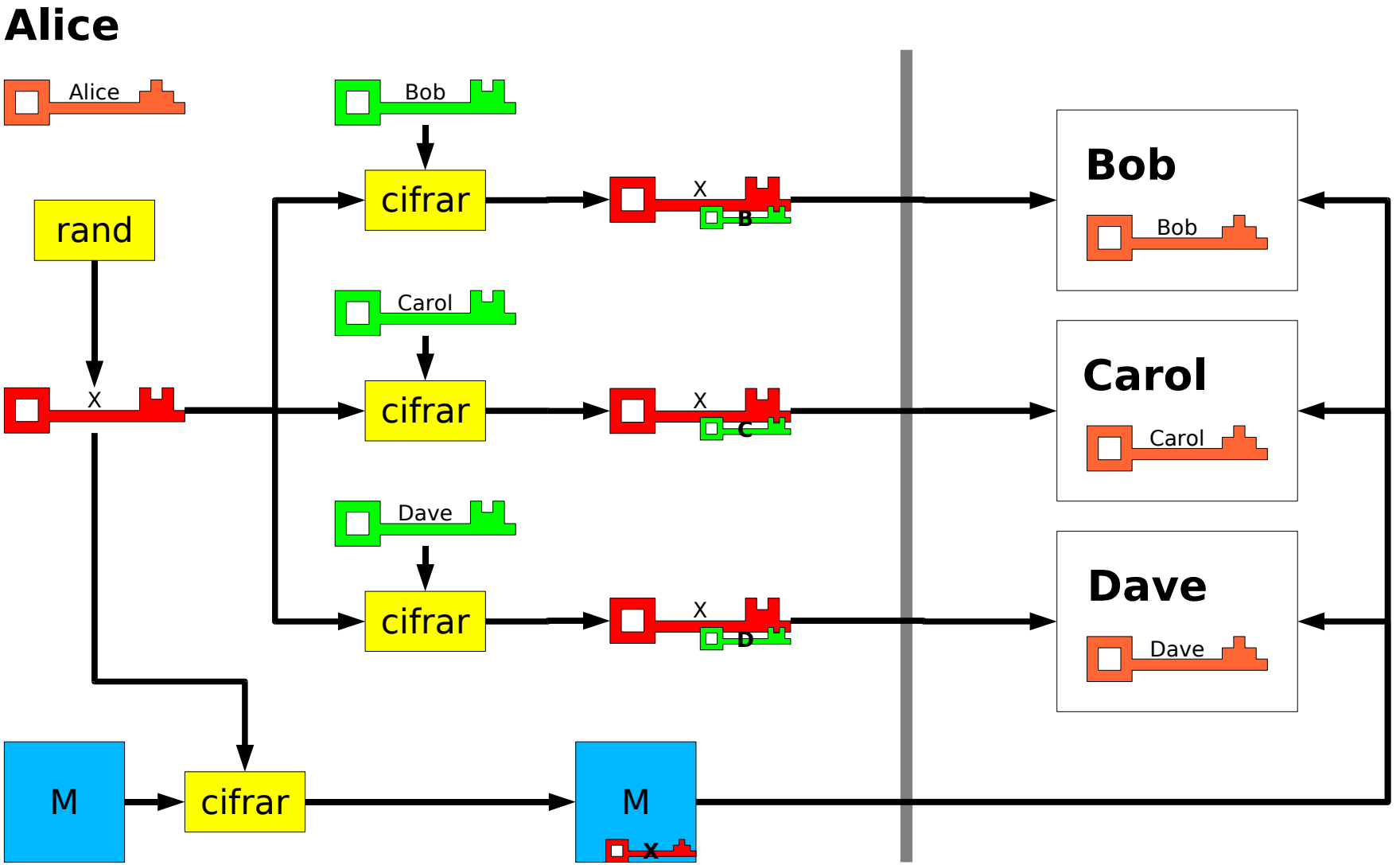
Cifrado híbrido



Cifrado híbrido

- Procedimiento
  - Alice genera una clave simétrica (X) para la sesión
  - Alice envía el mensaje cifrado con X, junto con X cifrado con la clave pública de Bob
  - Bob descifra la clave de sesión X y puede descifrar el mensaje
  - Sólo Bob puede descifrar el mensaje porque sólo Bob puede descifrar X
  - El algoritmo asimétrico se emplea únicamente para cifrar la clave X, que es mucho más pequeña que el mensaje completo
  - El mensaje se cifra con un algoritmo simétrico que es 1000 veces más rápido que el cifrado asimétrico, reduciendo el coste computacional
- Múltiples destinos
  - Se genera una clave de sesión cifrada para cada destino

Cifrado híbrido. Múltiples destinos



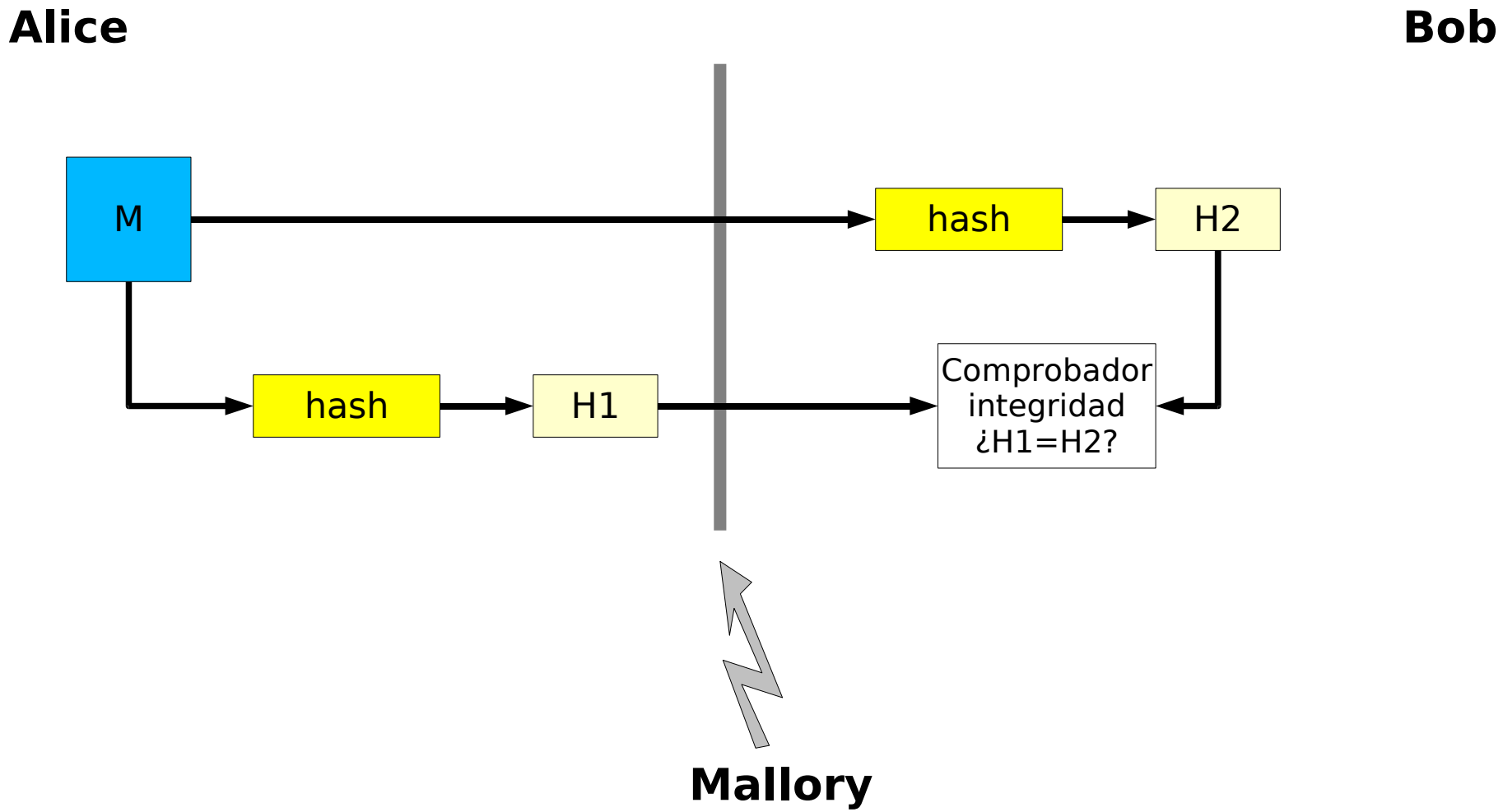
Problemas pendientes

- ~~Confidencialidad~~
- + Integridad
- + Autenticidad
  - Podría firmarse el mensaje -> coste computacional
- ~~Distribución de la clave~~
- **~~Coste computacional~~**
  - Tiempo de cifrado/descifrado (x1000 respecto simétrico)
  - Tamaño del mensaje cifrado (x2 respecto mensaje original)
  - Cifrado para múltiples destinatarios
- Gestión de claves

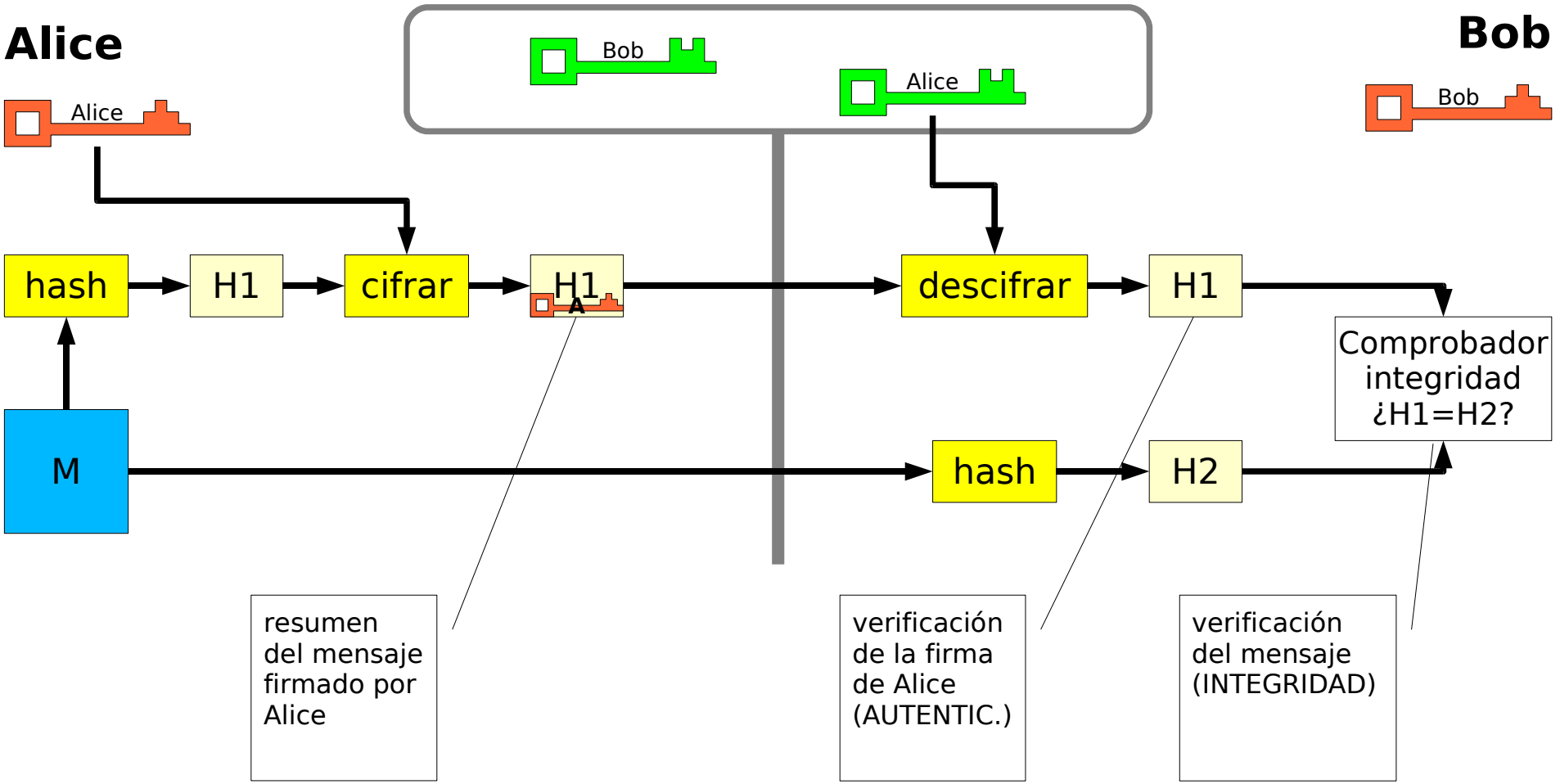
Algoritmos de hash

- Algoritmo de hash
  - Proceso matemático por el que a partir de un mensaje dado se obtiene un código de tamaño fijo (resumen o hash) asociado a dicho mensaje
  - Ej: MD5, SHA1
- Propiedades
  - A partir del resumen es prácticamente imposible obtener datos sobre el contenido del mensaje
  - Es altamente improbable que dos mensajes diferentes generen el mismo resumen (es altamente probable que dos mensajes con el mismo resumen sean idénticos)
  - Cualquier cambio en el mensaje, por pequeño que sea, produce resúmenes completamente diferentes

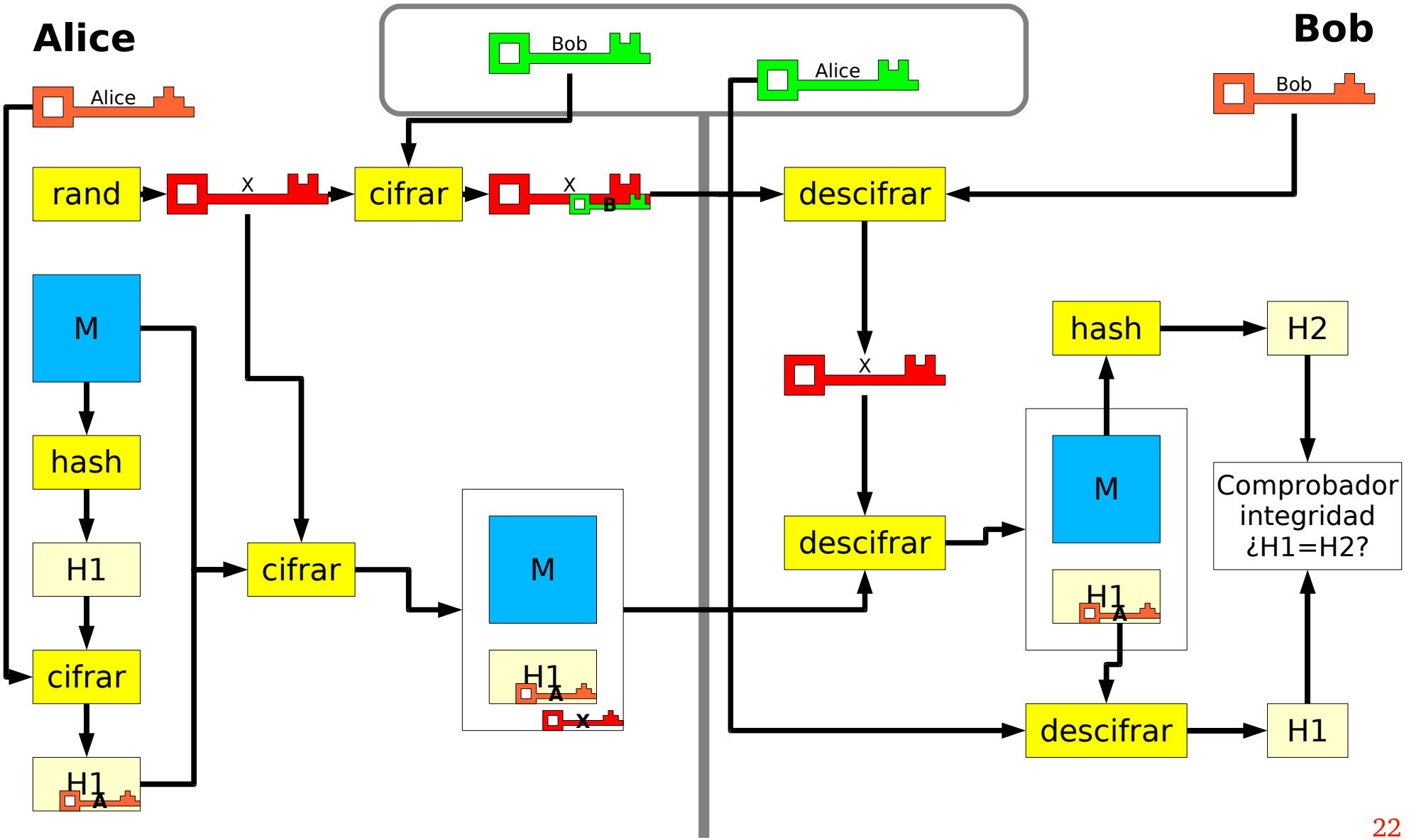
Algoritmos de hash



Firma digital con hash



Cifrado híbrido y firma con hash



Problemas pendientes

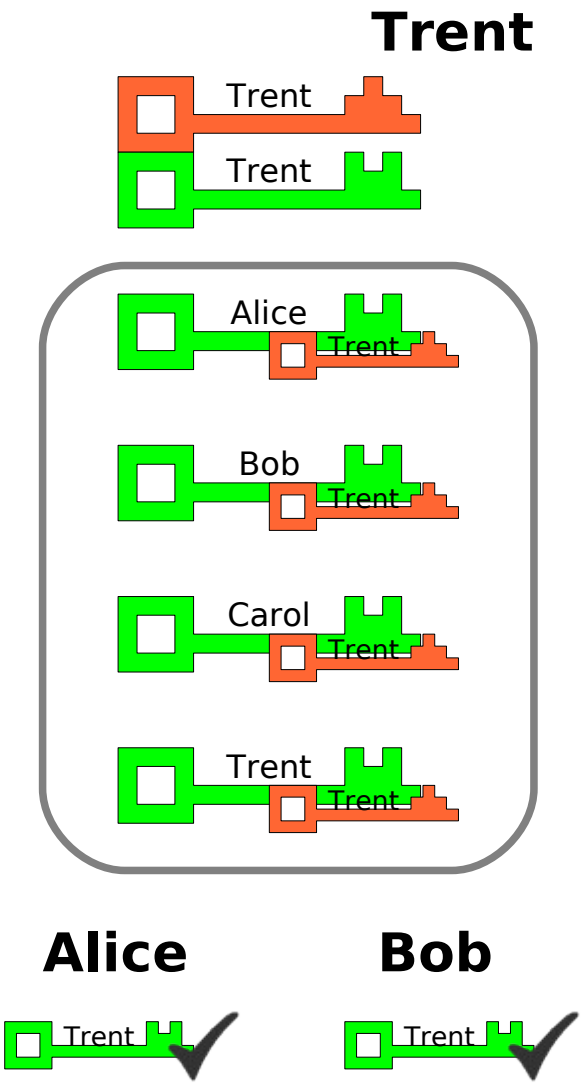
- ~~Confidencialidad~~
  - Clave simétrica de validez para una única sesión
- ~~Integridad~~
  - Generación de resumen (hash) y comprobación en el receptor
- ~~Autenticidad~~
  - Firma digital del resumen del mensaje
- ~~Distribución de la clave~~
- ~~Coste computacional~~
  - Cifrado asimétrico solo para clave de sesión y resumen
- Gestión de claves
  - Distribución de claves públicas
  - Autenticidad de claves públicas
  - Anulación de claves posiblemente comprometidas: revocación de claves

Gestión de claves

- Distribución de claves públicas
  - No es un problema ya que puede usarse cualquier medio público
    - Servidor público de claves
    - Incluir clave pública con los mensajes
    - Envío de la clave pública por cualquier canal, seguro o no
- Autenticidad de la clave pública
  - Todo el sistema depende de que se pueda verificar que una clave pública pertenece a quien dice ser
  - Opción 1: entrega personal de claves (poco adecuado, ineficiente)
  - Opción 2: firma de claves públicas por un tercero de confianza
    - Alice y Bob conocen la clave pública de Trent y saben que es correcta
    - Alice y Bob confían en Trent para verificar la autenticidad de otras claves públicas
    - Trent firma digitalmente las claves públicas una vez que ha verificado la identidad del interlocutor
    - Alice y Bop aceptan como válida (auténtica) cualquier clave pública firmada por Trent

Autenticación de claves

- Firma de claves
  - Centralizado (jerárquico): autoridad de certificación (CA)
    - Permite confiar en todas las claves firmadas por un tercero
    - A menudo el tercero expide las claves
    - Ej: X.509
  - Distribuido: red de confianza
    - Cada clave pública acumula la firma de terceros
    - Cualquiera puede firmar claves
    - El usuario establece la confianza en las claves y en los firmantes
    - Ej: OpenPGP



Certificados digitales

- Certificado digital
  - Unidad de información que contiene una pareja de claves pública y privada junto con la información necesaria para capacitar a su propietario (persona, equipo informático, etc.) a realizar operaciones de comunicación segura con otros interlocutores.
- Contenidos
  - Clave pública
  - Clave privada (sólo si es el propietario del certificado)
  - Datos del propietario: nombre, DNI, organización, ...
  - Datos sobre uso del certificado: algoritmos, funciones permitidas, ...
  - Periodo de validez: fecha inicial y final
  - Firmas de una o varias CA's o de

Certificados digitales. Almacenamiento

- Contenedor software: sistema informático que almacena la clave privada en un archivo informático convencional (disco duro, llave USB, etc.)
  - Habitualmente la clave se almacena cifrada y es necesaria una clave o frase de paso para descifrarla y poder usarla
  - Si la clave cifrada es comprometida, su vulnerabilidad depende en gran medida de la frase de paso con que haya sido cifrada
  - No se debe confiar en una clave comprometida, aunque estuviera cifrada
- Tarjeta inteligente (smart-card): dispositivo hardware que contiene la clave privada y permite hacer operaciones de firma y descifrado con ella
  - Las operaciones se hacen siempre dentro del dispositivo. La clave privada nunca se comunica al exterior
  - La clave privada debe estar protegida con una frase de paso para mayor seguridad (robo de la tarjeta)

Revocación de certificados

- Si se descubre que una clave puede haber sido comprometida es necesario anularla
- Certificado de revocación: documento electrónico que informa de que una clave ha sido revocada. Contiene
  - Clave (pública) revocada
  - Firma del propietario de la clave
  - Firma de la autoridad certificadora (posiblemente)
  - Las autoridades de certificación suelen tener un servicio que informa sobre la lista de certificados revocados
- Periodo de validez
  - Toda clave tiene un periodo de validez tras el cual ya no puede ser utilizada
  - Evita que se utilicen claves antiguas cuya seguridad es dudosa

Problemas ~~pendientes~~

- ~~Confidencialidad~~
  - Clave simétrica de validez para una única sesión
- ~~Integridad~~
  - Generación de resumen (hash) y comprobación en el receptor
- ~~Autenticidad~~
  - Firma digital del resumen del mensaje
- ~~Distribución de la clave~~
  - Uso de claves pública/privada
- ~~Coste computacional~~
  - Cifrado asimétrico solo para clave de sesión y resumen
- ~~Gestión de claves~~
  - Firma de claves públicas, listas de revocación y sistemas seguros de almacenamiento de claves

Aplicaciones. Web segura

- Conexión a página web segura (https)
- El servidor posee un certificado digital y nos envía la clave pública
- El navegador comprueba la firma en la clave pública del servidor
  - AUTENTICIDAD
  - Se genera un mensaje de advertencia si la firma no es de una autoridad conocida (riesgo de suplantación)
- Se genera una clave de sesión compartida empleando la clave pública
  - CONFIDENCIALIDAD e INTEGRIDAD

Aplicaciones. Autenticación

- Permite establecer la identidad del interlocutor
- Procedimiento (A quiere autenticarse ante B)
  - A presenta su clave pública a B.
  - B comprueba que la clave pública es correcta (está firmada por una CA, etc.).
  - B genera un mensaje aleatorio, lo cifra con la clave pública de A y lo envía a A.
  - A descifra el mensaje y lo envía descifrado a B
  - Si el mensaje es correcto, B puede asegurar que A posee la clave privada y por tanto es quien dice ser.
- A menudo se combina con la web segura para autenticarse ante servicios web

Aplicaciones. Firma digital de documentos

- Documento firmado electrónicamente
- Contiene:
  - Documento original
  - Resumen (hash) cifrado con la clave privada del emisor
  - Clave pública del emisor (opcional)
- Soportado por programas ofimáticos y sistemas operativos
- **La firma digital en España tiene la misma validez legal que la firma manuscrita en papel**
- Combinado con la web segura y la autenticación es la base de la “Administración Electrónica”
  - Obtención de certificados
  - Presentación de documentos (RPF, etc.)
  - Gestión de notificaciones oficiales
  - etc.

Aplicaciones. Cifrado de documentos

- Documento que sólo puede ser leído por su destinatario
- Proporciona confidencialidad
- Contiene:
  - Documento original cifrado con clave simétrica
  - Clave simétrica cifrada con clave pública del destinatario
  - Información de gestión: destinatario, algoritmos empleados, etc.
- Usado frecuentemente durante la transmisión del documento
  - Descarga web
  - Correo electrónico
  - ...

Aplicación. Correo electrónico seguro

- Cliente con soporte certificados digitales
  - MS-Outlook: Windows, S-MIME
  - Mozilla Thunderbird: Windows/Linux, S-MIME/OpenPGP
  - Evolution: Linux, S-MIME/OpenPGP
- Certificado digital
  - Archivo con certificado de la FNMT
  - Tarjeta inteligente con certificado de la FNMT + Lector
  - DNI electrónico + Lector
  - Archivo con claves OpenPGP

Riesgos (y soluciones)

- Riesgos
  - Cualquiera que posea nuestro certificado digital puede firmar en nuestro nombre
  - Un programa malicioso (virus), aprovechando un posible fallo de seguridad, puede acceder a nuestro certificado, enviarlo a un tercero, suplantar nuestra identidad, etc.
  - El uso de tarjetas inteligentes evita el acceso a nuestro certificado, pero un programa malicioso todavía puede tomar el control de sesiones seguras iniciadas, acceder a datos privados, suplantar nuestra identidad, etc.
- Soluciones
  - Proteger nuestro certificado digital de otros usuarios
  - Usar programas más seguros: Firefox frente a IE, etc.
  - Reducir el riesgo de virus: usar GNU/Linux

Resumen

- Un certificado digital se compone de una pareja de claves
  - Clave privada: deber guardarse en secreto y protegerse
  - Clave pública: puede (y debe) publicarse y distribuirse
- Mediante certificados digitales se puede:
  - Firmar digitalmente mensajes y documentos
  - Enviar y recibir mensajes y documentos cifrados
  - Comprobar la autenticidad de un mensaje o documento
  - Acreditar la identidad propia ante un interlocutor
- Para enviar un mensaje cifrado a un destino necesito conocer su clave pública.
- La autenticidad de una clave pública se verifica si está firmada por alguien (ej: una autoridad de certificación) en quien confío.
- Los certificados que hayan podido ser comprometidos deben añadirse a una lista de revocación si no han caducado