Taller de Sistemas Embebidos
Máquina de Estados

Información relevante

Taller de Sistemas Embebidos

Asignatura correspondiente a la **actualización 2023** del Plan de Estudios 2020 y resoluciones modificatorias, de Ingeniería Electrónica de FIUBA

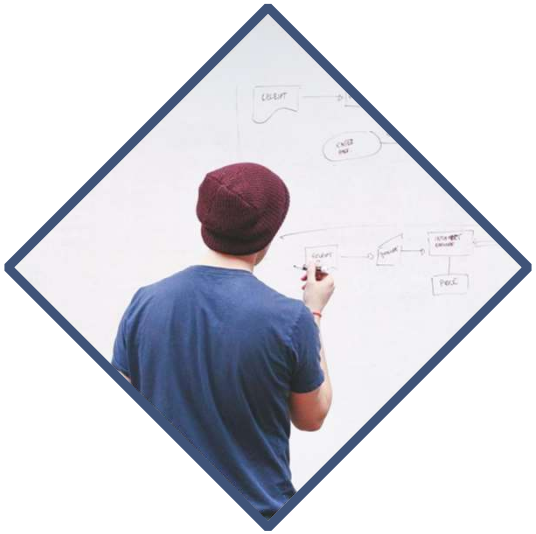
Estructura Curricular de la Carrera

El **Proyecto Intermedio** se desarrolla en la asignatura **Taller de Sistemas Embebidos**, la cual tiene un enfoque centrado en la **práctica propia de la carrera** más que en el desarrollo teórico disciplinar, con eje en la **participación de las y los estudiantes**

Más información . . .

. . . sobre la **actualización 2023** . . . https://www.fi.uba.ar/grado/carreras/ingenieria-electronica/plan-de-estudios

. . . sobre el **Taller de Sistemas Embebidos** . . . https://campusgrado.fi.uba.ar/course/view.php?id=1217



¡Hola!

Soy Juan Manuel Cruz
Taller de Sistemas Embebidos
Consultas a: jcruz@fi.uba.ar

1

Introducción

Actualización 2023 del Plan de Estudios 2020 y resoluciones . . .

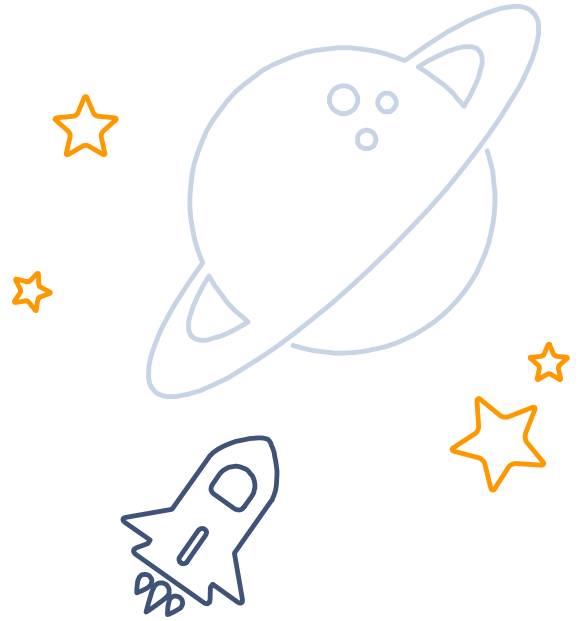
Conceptos básicos

- Referencia:
  - Itemis **CREATE** (web site)
    - Utilice el poder de las **máquinas** de **estados**.
    - Con Itemis **CREATE**, puede crear fácilmente **sistemas complejos** de forma **visual**. **Simule** y **pruebe** el **comportamiento** de su **sistema** mientras **modela**.
    - Los **generadores** de **código** traducen su **máquina** de **estados** en **código fuente** de alta **calidad** para **diferentes plataformas** de destino.

Conceptos básicos

- Documentation
  - User Guide
    - Obtenga más información sobre las **máquinas** de **estados** en general, cómo instalar **itemis CREATE** y cómo utilizar las funciones de la herramienta para obtener el **máximo beneficio** para su **trabajo**.
    - What is a state machine?
      - Una **máquina** de **estados** es un **modelo** de **comportamiento**.
      - Consta de un **número finito** de **estados** y, por lo tanto, también se denomina **máquina** de **estados finitos** (**FSM**)
      - Según el **estado actual** y una **entrada** determinada, la **máquina** realiza **transiciones** de **estado** y **produce resultados**.

Solución Adecuada



. . . lo más simple posible, previa determinación del objetivo de excelencia a cumplir, obviamente contando con la documentación debida y recurriendo a la metodología de trabajo adecuada

2

Documentación debida

1er Cuatrimestre de 2024, dictado por primera vez . . .

Itemis CREATE (web site)

Documentation

User Guide

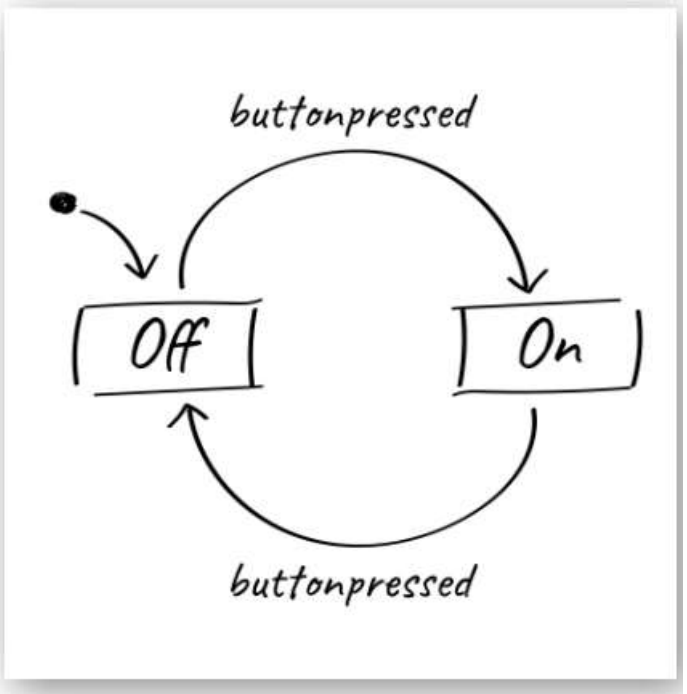
What is a state machine?

What is a state machine?

- What is a state machine?
  - Una **máquina** de **estados** es un **modelo** de **comportamiento**.
  - Consta de un **número finito** de **estados** y, por lo tanto, también se denomina **máquina** de **estados finitos** (FSM)
  - Según el **estado actual** y una **entrada** determinada, la **máquina** realiza **transiciones** de **estado** y **produce resultados**.
  - Hay tipos **básicos** como las **máquinas Mealy** y **Moore** y tipos más **complejos** como los **diagramas** de **estado Harel** y **UML**.

What is a state machine?

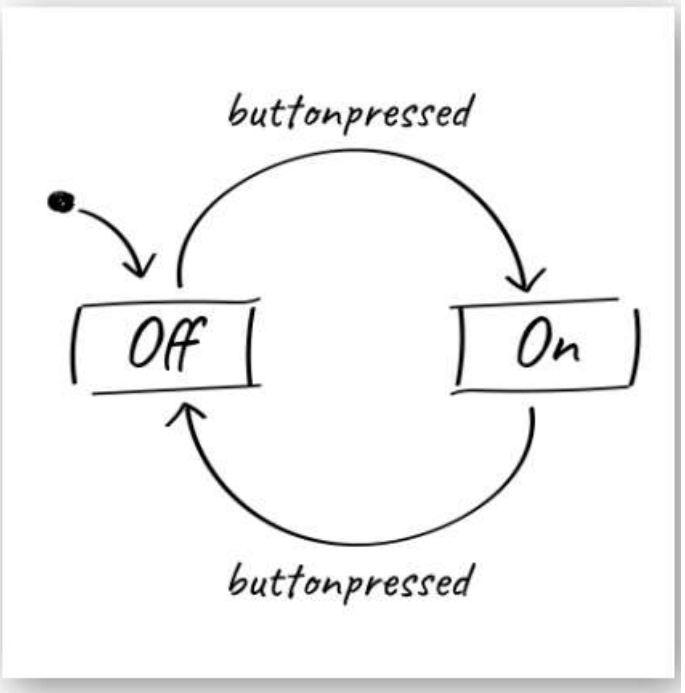
- Los **componentes** básicos de una **máquina** de **estados** son los **estados** y las **transiciones**.
- Un **estado** es una **situación** de un **sistema** que depende de **entradas anteriores** y **provoca** una **reacción** a las **entradas siguientes**.
- Un **estado** está **marcado** como **estado inicial**; aquí es donde **comienza** la **ejecución** de la **máquina**.
- Una **transición** de **estados** define para qué **entrada** se **cambia** un **estado** de uno a otro.
- Dependiendo del tipo de **máquina** de **estados**, los **estados** y/o **transiciones** producen **salidas**.



Simple state machine

What is a state machine?

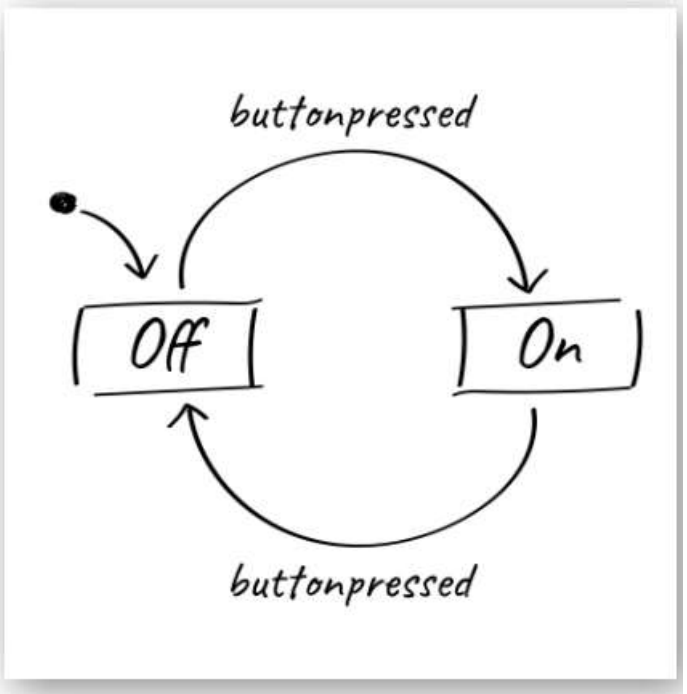
- Considere la **máquina** de **estados simple** anterior.
- Consta de dos **estados**, **apagado** y **encendido**.
  - **Off** es el **estado inicial** aquí; se activa cuando se ejecuta la **máquina** de **estados**.
  - Las **flechas** entre los **estados** indican las posibles **transiciones** de estado.
    - Ellas **definen** para qué **entrada** se **produce** un **cambio** de **estado**.
  - Aquí, el **estado activo** cambia de **On** a **Off** por la entrada **buttonpressed**, y nuevamente a **On** por la misma entrada.



Simple state machine

What is a state machine?

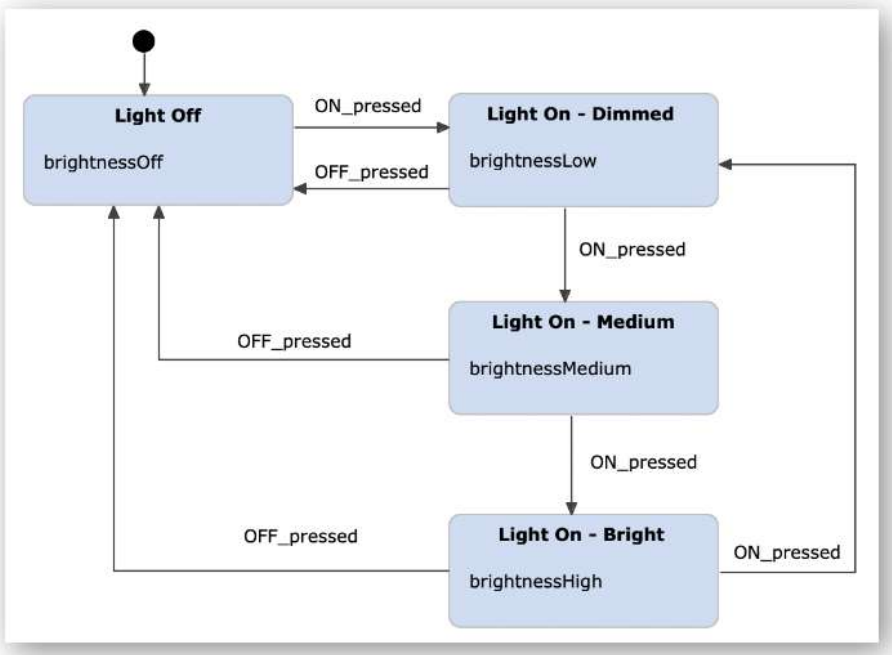
- Tenga en cuenta: en la teoría de los **autómatas**, un **autómata** **reacciona** a las **entradas** y produce **salidas**.
  - Allí se suelen utilizar los términos **entrada** y **salida** para símbolos que pertenecen a un alfabeto.
  - Las **máquinas** de **estados** modernas utilizan una definición ampliada de **entradas** y **salidas**.
  - Las **entradas** pueden ser **eventos** como un clic en un botón o un disparador de **tiempo** (**time trigger**), mientras que las **salidas** son **acciones** como una **llamada** a una **operación** o una **asignación** de **variable**.
  - A continuación, ampliaremos el ejemplo de cambio simple para explicar las **diferencias** entre las **máquinas Mealy** y **Moore**, así como los diagramas de estado de **Harel** y las **máquinas** de **estado UML**.



Simple state machine

Máquinas de Moore

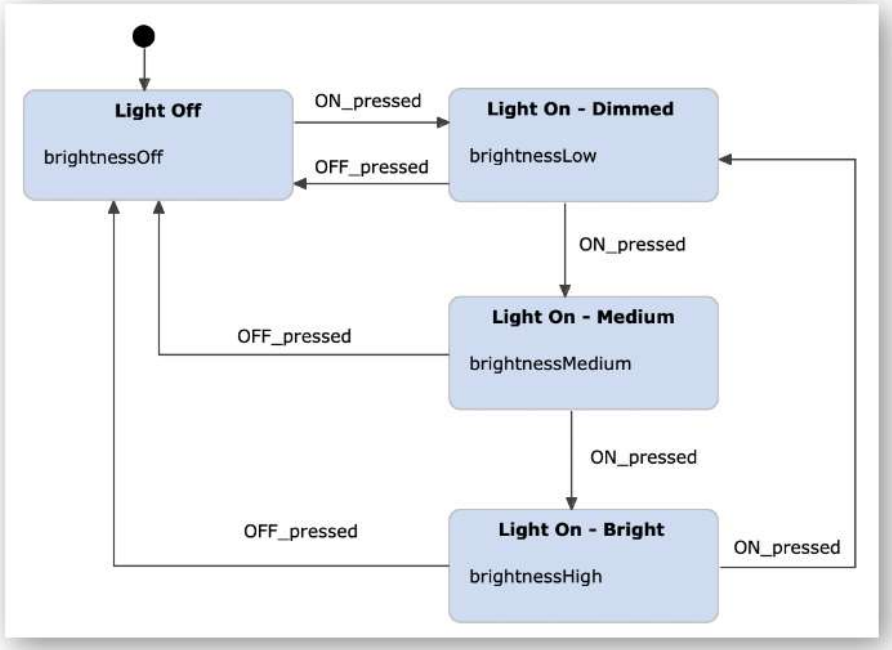
- En la teoría de los **autómatas**, existen dos tipos básicos de **máquinas** de **estados finitos** (FSM).
- Una de ellas se llama **máquina** de **Moore**, que lleva el nombre de su inventor **Edward Moore**, (introdujo el concepto en 1956).
- Las **máquinas** de **Moore** constan de **estados** y **transiciones**.
- Los **estados** pueden producir **resultados**, y los resultados están **determinados** únicamente por el **estado actual**, **no** por ninguna **entrada**.



Light switch example as a Moore machine, modeled with itemis CREATE

Máquinas de Moore

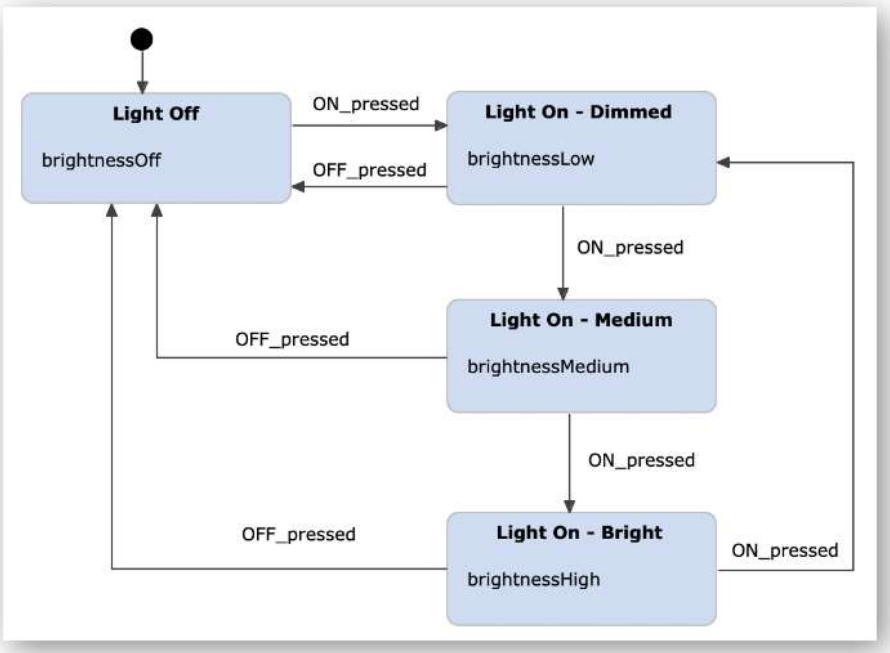
- Ampliamos el ejemplo del interruptor anterior a un **interruptor** de **luz** con diferentes **niveles** de **brillo**.
  - El **interruptor** de la **luz** tiene **dos botones**, un **botón** de **ON** y un **botón** de **OFF**.
  - Al presionar el **botón ON** se **enciende** la **luz** y se **alterna** entre los diferentes **niveles** de **brillo**.
  - Este **comportamiento** está **modelado** por la siguiente **máquina** de **estados**.



Light switch example as a Moore machine, modeled with itemis CREATE

Máquinas de Moore

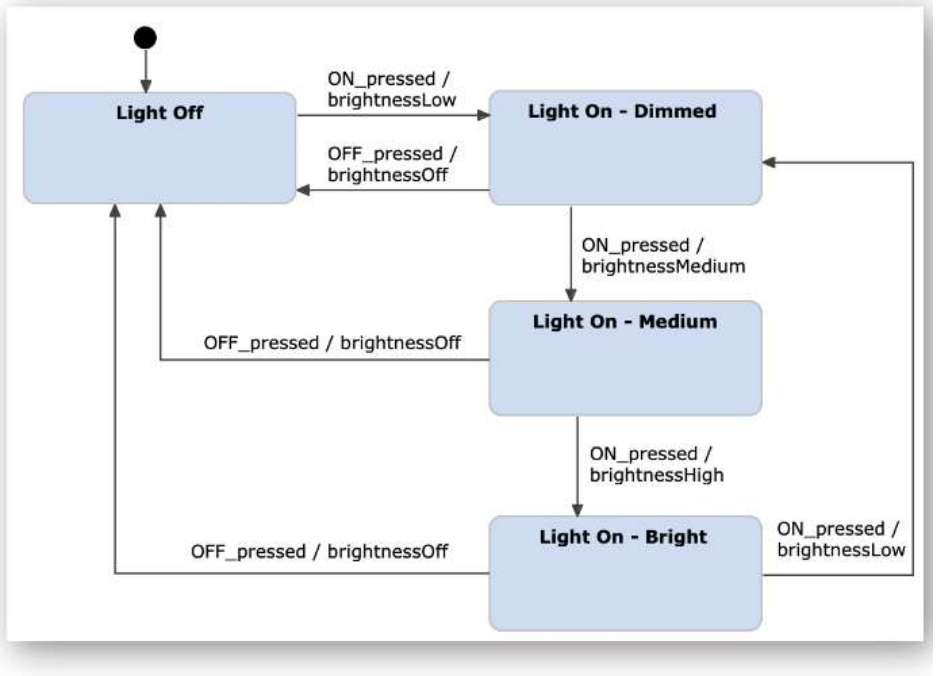
- Al presionar un **botón** se **genera** un **evento** correspondiente (**ON_pressed** o **OFF_pressed**) ante el cual la **máquina reacciona** con un **cambio** de **estado** y las **salidas** correspondientes.
- La **salida** de la **máquina** de **estados** es simplemente el **nivel** de **brillo**
- Como en las **máquinas Moore** solo los **estados** producen **resultados**, necesitamos un estado dedicado por **nivel** de **brillo**.



Light switch example as a Moore machine, modeled with itemis CREATE

Máquinas de Mealy

- Las máquinas **Mealy** fueron inventadas por **George H. Mealy** en 1955.
- En comparación con las **máquinas** de **Moore**, las **máquinas Mealy** producen **resultados** sólo en **transiciones** y no en **estados**.
- Esto a menudo da como resultado **diagramas** de **estados** con **menos estados** porque se puede **poner más lógica** en las **transiciones**.
- Tenga en cuenta que ambos **diagramas** de **estado**, la **máquina** de **Moore** anterior y la de **Mealy**, describen exactamente el **mismo sistema**. De hecho, la teoría de los **autómatas** afirma que siempre se puede traducir una **máquina** de **Moore** a una máquina de **Mealy** y viceversa, sin perder expresividad.



Light switch example as a Mealy machine

Diagramas de Estado de Harel

- Aunque las **máquinas Mealy** ya pueden **reducir** el número de **estados** requeridos, en el caso de **sistemas complejos**, estos **autómatas** se vuelven fácilmente **inmanejables**. O para decirlo en palabras de **David Harel**:
  - "Un **sistema complejo** no puede describirse beneficiosamente de esta manera ingenua, debido a la **multitud** de **estados inmanejables** y en crecimiento exponencial, todos los cuales tienen que **organizarse** de una manera **plana** y **no estratificada**, lo que resulta en un **diagrama** de **estados desestructurado**, **poco realista** y **caótico**."
- **Harel** concluyó que "un enfoque de **estados** debe ser **modular**, **jerárquico** y bien **estructurado**" e introdujo conceptos adicionales como **estados compuestos** y **ortogonalidad** (paralelismo).

Diagramas de Estado de Harel

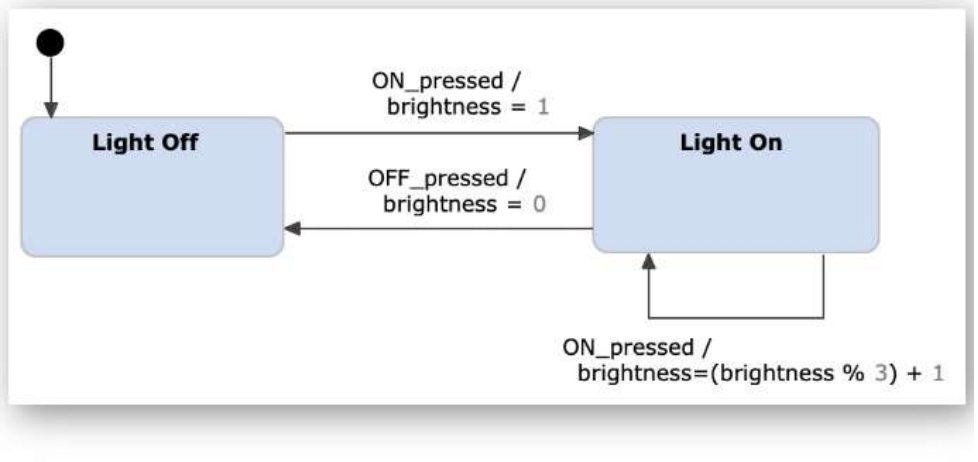
- Acuñó el término “**statechart**” y lo definió como:
  - "**statecharts** = **state-diagrams** + **depth** + **orthogonality** + **broadcast communication**"
- Básicamente, los **diagramas** de **estado** de **Harel** son **máquinas** de **Mealy/Moore** ampliadas con conceptos adicionales que nos **permiten modelar sistemas complejos** de una **manera práctica**.
- Al utilizar **estados compuestos** y **subdiagramas**, podemos aportar más **profundidad** a los **diagramas** de **estado**, **manteniendo** al mismo tiempo los **diagramas claros** y bien **estructurados**.

Diagramas de Estado de Harel

- Las **regiones** nos ayudan a expresar la **ortogonalidad**: diferentes **máquinas** de **subestados** que se pueden **ejecutar** una junto de la otra.
- Los **eventos** nos permiten lograr una **comunicación** en **broadcast** y nos brindan un medio sólido para describir **comportamientos complejos**.
- Usando **guardas**, podemos afirmar que un determinado **evento desencadena una transición** solo **si** se **cumple** una **condición** determinada.
- Las **transiciones** entre niveles, los **estados históricos**, la **lógica temporal**, así como las **acciones** al **entrar**, **salir** y **permanecer** en un estado son otros elementos del **diagrama** de **estado** de **Harel**.

Diagramas de Estado de Harel

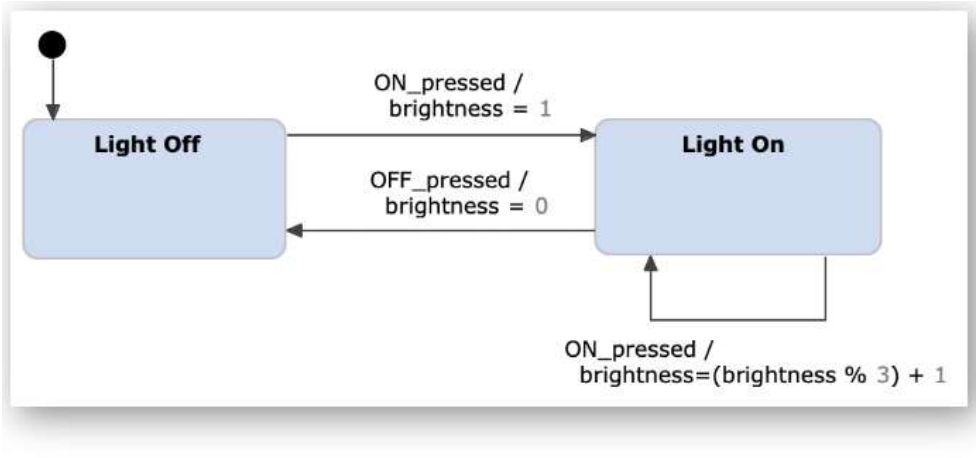
- Los diagramas de estado de Harel pueden definir variables que se pueden utilizar en expresiones de entrada y salida.
  - En cuanto al ejemplo del interruptor de luz, esto nos permite almacenar el nivel de brillo en una variable en lugar de en varios estados.
  - De esa manera, podemos simplificar el diagrama de estados fusionando todos los estados de Light On en uno y ejecutando las acciones de salida en una autotransición.
  - Aquí simplemente incrementamos el valor de brillo cada vez que se realiza la transición.



Light switch example as a Harel statechart

Diagramas de Estado de Harel

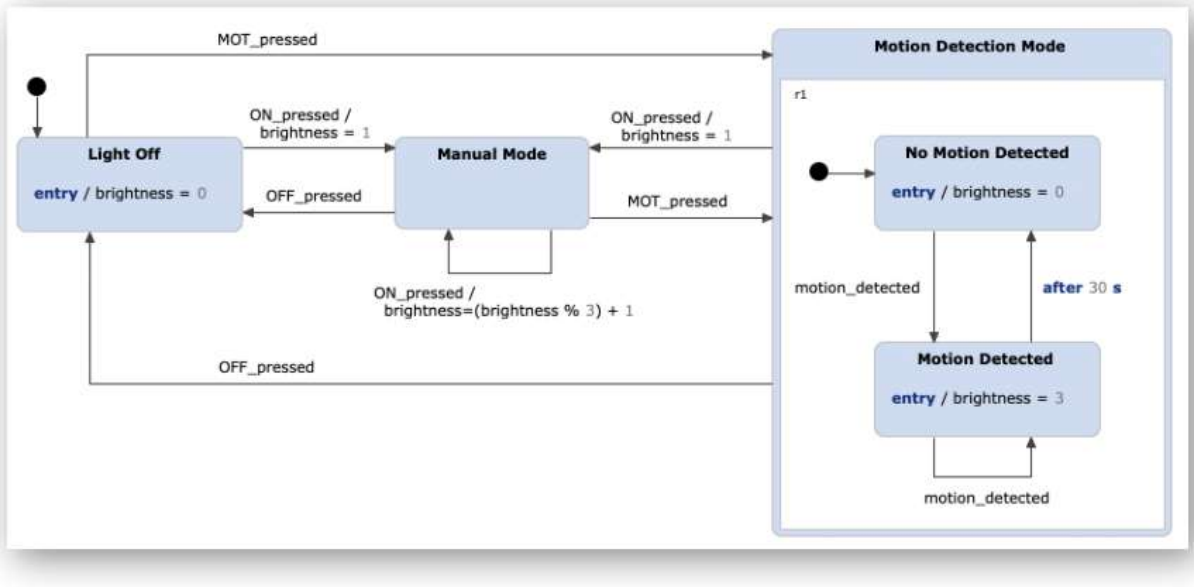
- Usamos el **operador módulo** para asegurar que el **valor** de **brillo** permanezca entre 1 y 3.
- Esto tiene la ventaja de que podemos **cambiar** la **cantidad** de **niveles** de **brillo sin** agregar **nuevos estados**.



Light switch example as a Harel statechart

Diagramas de Estado de Harel

- Para mostrar el uso de **estados compuestos** ampliamos el ejemplo del **interruptor** de **luz** con un modo de **detección** de **movimiento**.
  - Cuando se presiona el **botón MOT**, se **activa** el **sensor** de **movimiento**.
  - Una vez que el **sensor detecta** cualquier **movimiento** (**evento motion_detected**), la **luz** se **enciende** al **nivel** de **brillo más alto** (**brillo** = 3).

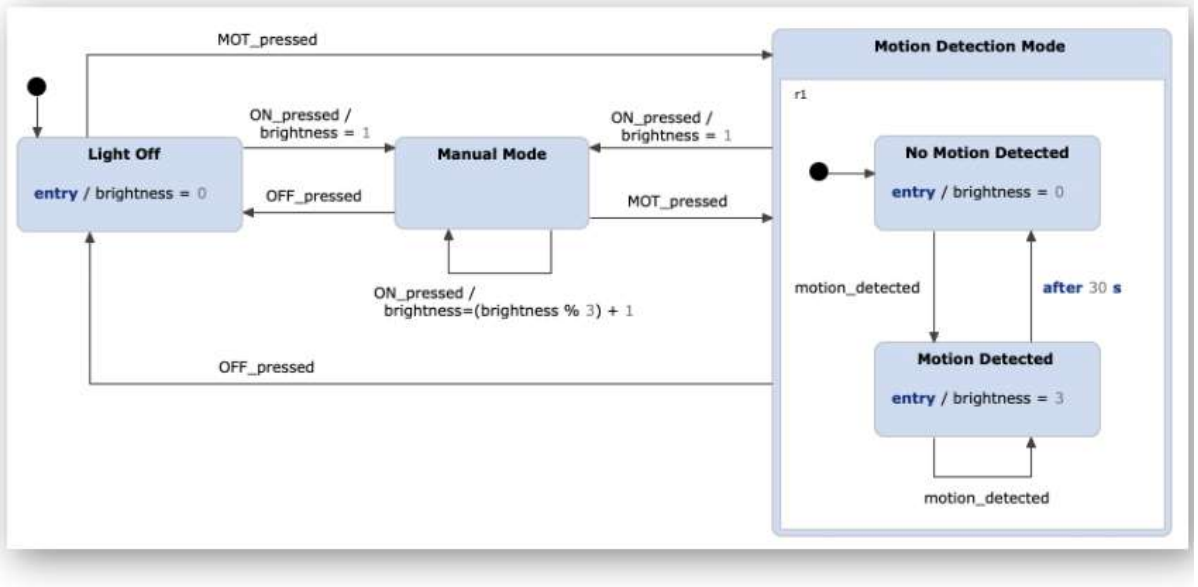


Extended light switch example as a Harel statechart with composite states

Diagramas de Estado de Harel

- Esto se puede **modelar** con un **estado compuesto** que **agrupe** los **dos estados Motion Detected** y **No Motion Detected**.

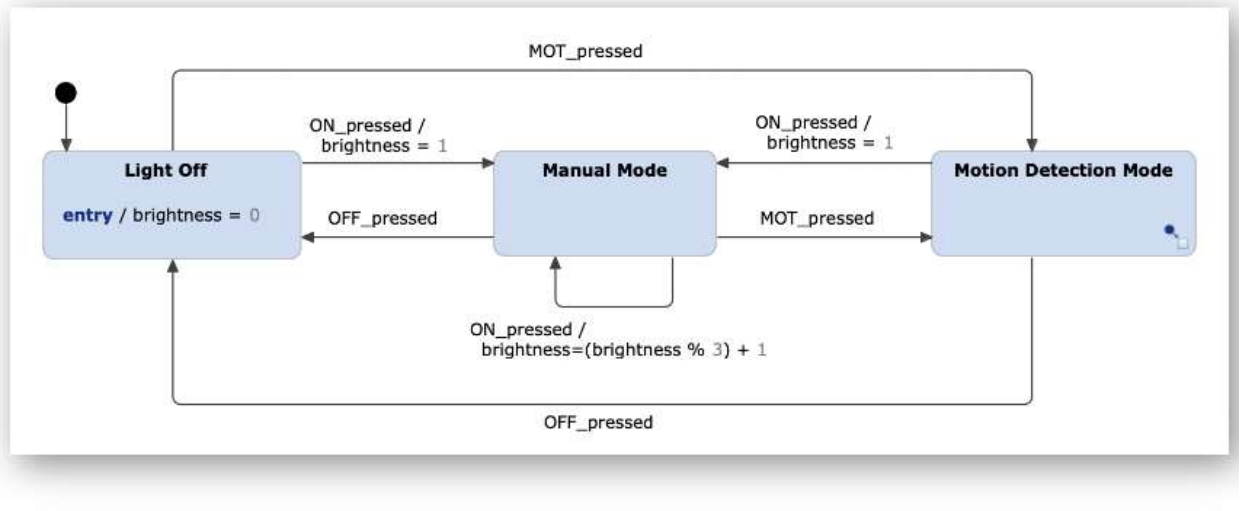
- Tenga en cuenta también que los **diagramas** de **estados** de **Harel** combinan las características de las **máquinas** de **Mealy** y **Moore**, por lo que los resultados pueden producirse por **estados** y **transiciones** como se indica en el **diagrama** de **estados** anterior.



Extended light switch example as a Harel statechart with composite states

Diagramas de Estado de Harel

- Incluso podemos ir un paso más allá y **ocultar** la lógica del **modo** de **detección** de **movimiento** en un **subdiagrama**.
- De esa manera, el **sistema** se vuelve **más comprensivo** ya que se pueden **ver** directamente los **diferentes modos** y cómo **cambiar** entre ellos.
- Otros conceptos como **ortogonalidad** o **estados históricos** se omiten aquí por motivos de brevedad. Leer quick reference => https://www.itemis.com/en/products/itemis-create/documentation/user-guide/quick_ref#quick_ref



Extended light switch example as a Harel statechart with sub diagrams

The present age: UML state machines

- Las **máquinas** de **estados UML** se basan en la notación de **diagrama** de **estados** introducida por **David Harel**.
- Además, **UML amplía** la **notación** de los **diagramas** de **estado** de **Harel** mediante principios **orientados** a **objetos**.
  - Asignando esto a nuestro ejemplo de **interruptor** de **luz**, en **UML** podemos **modelar** las posibles **acciones** del **interruptor** de **luz** como un tipo con **operaciones turnOn**(), **turnOff**(), **setBrightness**(**value**) y así sucesivamente.
- La siguiente tabla ilustra de un vistazo las diferencias entre los tipos descritos anteriormente.

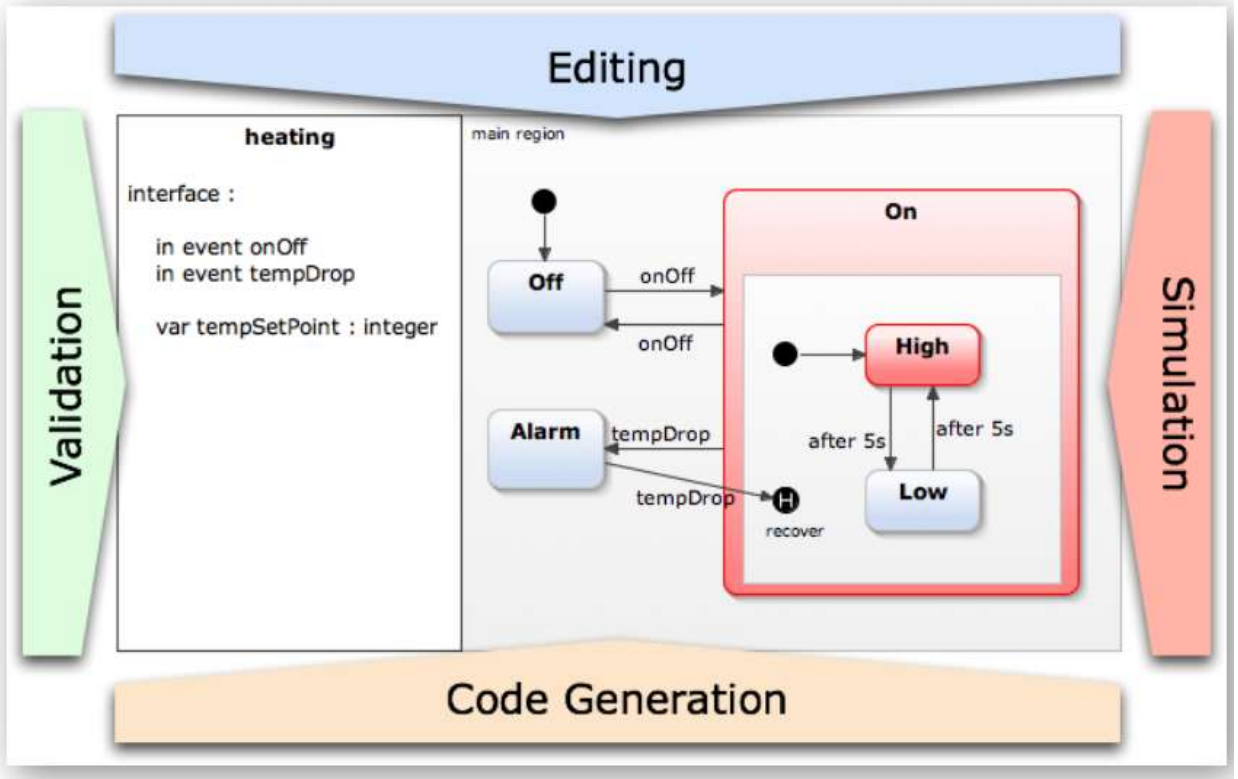
	Mealy	Moore	Harel	UML
States and transitions	✓	✓	✓	✓
Transitions produce output	✓		✓	✓
States produce output		✓	✓	✓
Depth (hierarchies, composite states)			✓	✓
Orthogonality (parallel substatemachines)			✓	✓
Broadcast communication (events)			✓	✓
History, actions, delays, timeouts, conditions			✓	✓

Differences between the state machine types

The present age: UML state machines

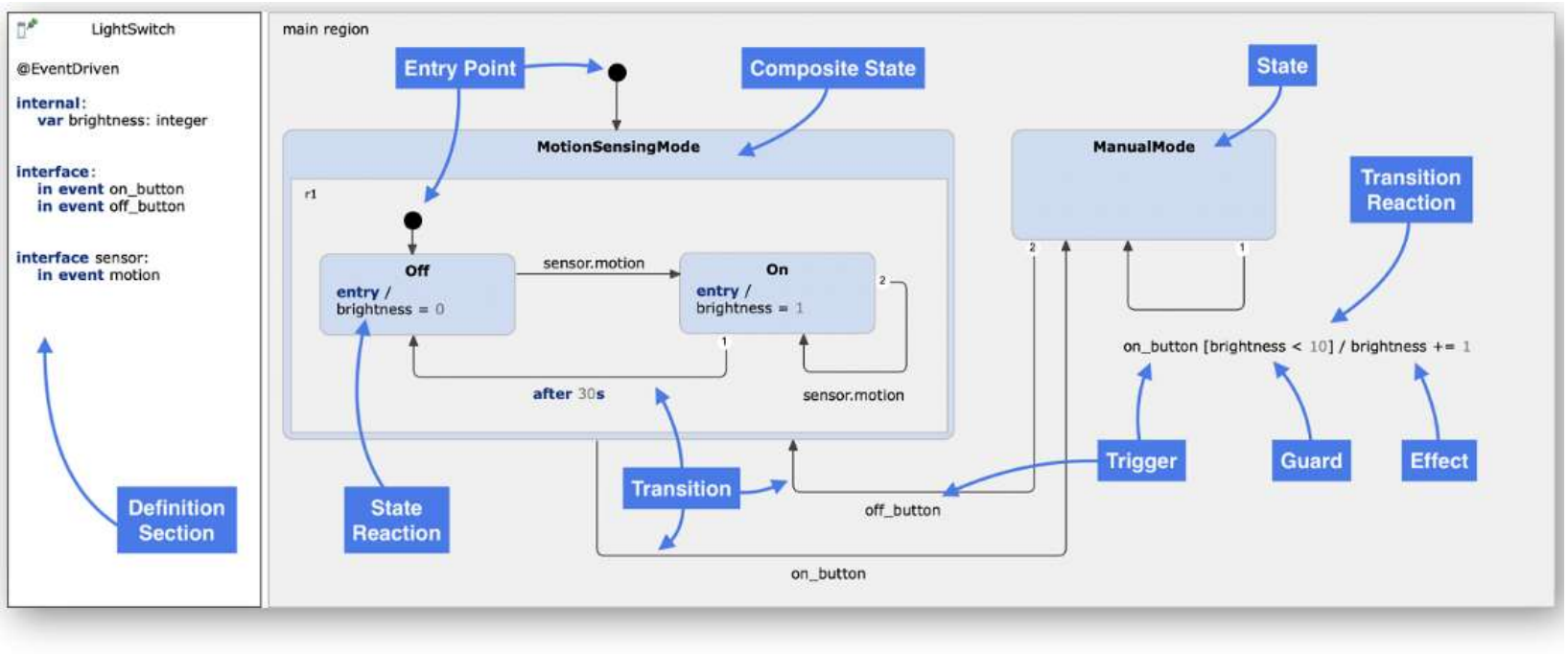
- Obtenga más **información** sobre el **modelado** de **sistemas** con **máquinas** de **estados** en nuestro documento técnico gratuito:
  - Los ejemplos de gráficos de estado de este artículo fueron diseñados con **Itemis CREATE**": https://www.itemis.com/en/yakindu/state-machine/, cuya documentación está leyendo ahora mismo.
  - Los **diagramas** de **estado** creados se basan en los gráficos de **estado** de **Harel** y son muy cercanos, pero no idéntico a las **máquinas** de **estado UML**. Las diferencias concretas se explican en la documentación disponible.
  - **Itemis CREATE** viene con un **simulador** de **diagrama** de **estado** que permite ejecutar directamente los **diagramas** de **estado modelados**. Varios **generadores** de **código traducen** el **diagrama** de **estado** al **código fuente**.

Itemis CREATE



Features of itemis CREATE

Itemis CREATE



Overview of a statechart's basic building blocks

Diseño Paso a Paso

- A partir de las especificaciones del **sistema**:
  - Primer paso — Identificar los **eventos** y las **acciones**
  - Segundo paso — Identificar los **estados**
  - Tercer paso — Agrupar por **jerarquías**
  - Cuarto paso — Agrupar por **paralelismo**
  - Quinto paso — Añadir las **transiciones**
  - Sexto paso — Añadir las **sincronizaciones**
- Elegida una herramienta de software podremos: **Editar**, **Verificar** y **Validar** (Simular) el **diagrama** de **estados**
- Culminando con la **generación** del **código** (opción posible dependiendo de la herramienta de software)

Convención de identificadores

- A fin de no confundir los **elementos** del **diagrama** de **estados** es recomendable adoptar una **convención** para **identificarlos**.
  - Por ejemplo, recurriendo a **prefijos/sufijos** para identificar **algunos elementos** como:
    - Evento ev_ Acción/Actividad op_
    - Máquina de Estados sm_
    - Variable de Estado _st Variable de Evento _ev
- Cuidado, hay **palabras reservadas**:
  - internal, interface, state, event
  - entry, exit, do, after, always, oncycle, else, default, etc.

Codificación en C

- Tenemos múltiples opciones para codificar en C diagramas de de estado finito, a saber:
  - Mediante combinaciones de **switch** & múltiples **if** o **punteros** a **función** (variables de **control**: **state** & **event**)
  - **Tablas de Estados** de **una** o **dos dimensiones**
  - **Patrones** de **diseño** de **estado orientados** a **objetos**
  - Otras técnicas que combinan a las anteriores (**frameworks**)

Table 3.1: Two-dimensional state table for the time bomb

		Events →			
		UP	DOWN	ARM	TICK
States ↓	Setting	`setting_UP(), setting`	`setting_DOWN(), setting`	`setting_ARM(), timing`	`empty(), setting`
	Timing	`timing_UP(), timing`	`timing_DOWN(), timing`	`timing_ARM(), setting(*)`	`timing_TICK(), timing(**)`

Notes:
(*) The transition to "setting" is taken only when (`me->code == me->defuse`).
(**) The self-transition to "timing" is taken only when (`e->fine_time == 0`) and (`me->timeout != 0`).

Codificación en C

Table 3.2: One-dimensional state transition table for the time bomb

Current State	Event (Parameters)	[Guard]	Next State	Actions
setting	UP	[me->timeout < 60]	setting	++me->timeout; BSP_display (me->timeout);
	DOWN	[me->timeout > 1]	setting	–me->timeout; BSP_display (me->timeout);
	ARM		timing	me->code = 0;
	TICK		setting	
timing	UP		timing	me->code <<=1; me->code |= 1;
	DOWN		timing	me->code <<= 1;
	ARM	[me->code == me-> defuse]	setting	
	TICK (fine_time)	[e->fine_time == 0]	choice	–me->timeout; BSP_display (me->timeout);
		[me->timeout == 0]	final	BSP_boom();
		[else]	timing	

Modelo pulsador/llave

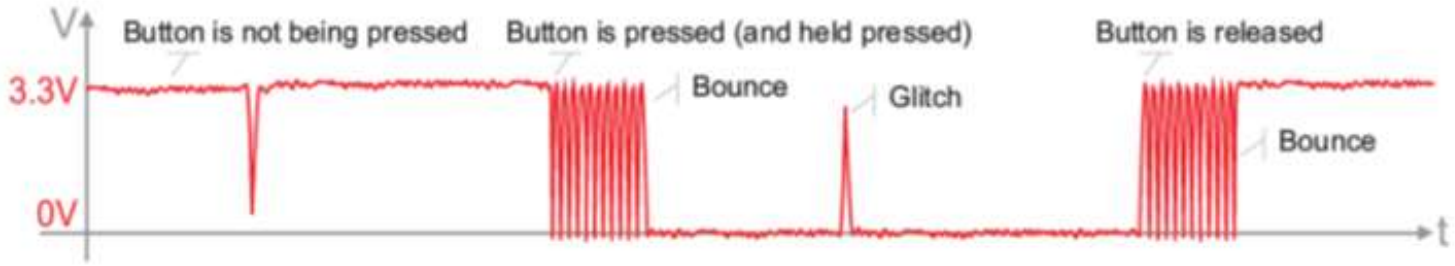


Figure 4.6 Voltage signal over time for a given button, including typical glitches and bounces.

Sensor Statechart - State Transition Table				
Current State	**Event**	**[Guard]**	**Next State**	**Actions**

Referencias

- Itemis CREATE - https://www.itemis.com/en/products/itemis-create/
- Itemis CREATE, What is a state machine? - https://www.itemis.com/en/products/itemis-create/documentation/user-guide/overview_what_are_state_machines?hsLang=en
- Itemis CREATE, Quick reference - https://www.itemis.com/en/products/itemis-create/documentation/user-guide/quick_ref?hsLang=en
- Itemis CREATE, Statechart language reference - https://www.itemis.com/en/products/itemis-create/documentation/user-guide/sclang_statechart_language_reference?hsLang=en
- Practical UML Statecharts in C/C++, 2nd Ed, Event-Driven Programming for Embedded Systems by Miro Samek, Ph.D. - https://www.state-machine.com/psicc
- Reactive System Framework by Leandro Francucci - http://sourceforge.net/projects/rkh-reactivesys/

Manos a la obra con el . . .

. . . Proyecto Intermedio

. . . un enfoque centrado en la **práctica propia de la carrera** más que en el desarrollo teórico disciplinar, con eje en la **participación de las y los estudiantes**


Las y los estudiantes preguntarán:
¿en qué lío nos metimos?

¡Muchas gracias!

¿Preguntas?

. . .

Consultas a: jcruz@fi.uba.ar